



**Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de
un snack a base de cáscara y pulpa de mango (*Mangifera indica*)
y guayaba (*Psidium guajava* L)**

Andrea Marquez Gonzalez

Sarai Marulanda García

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Alimentos
Tuluá - Valle del Cauca
2026



Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack a base de cáscara y pulpa de mango (*Mangifera indica*) y guayaba (*Psidium guajava* L)

Andrea Marquez Gonzalez (2159944)

Sarai Marulanda García (2160271)

Director:

Anthony Farid Cabezas Guevara, Ing

Codirector:

Alfredo Ayala Aponte, PhD

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de alimentos

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Alimentos
Tuluá - Valle del Cauca
2026

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios quien nos ha guiado a lo largo de nuestro camino. A nuestros directores de tesis Anthony Farid Cabezas y Alfredo Ayala Aponte, por su apoyo y orientación durante este proceso y en especial a nuestras familias por su comprensión y cariño incondicional que nos ha impulsado en cada paso.

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	10
2.	INTRODUCCIÓN	11
3.	MARCO TEÓRICO.....	13
3.1	Mango.....	13
3.2	Guayaba.....	15
3.3	Secado.....	16
3.4	Ventana de refractancia	17
3.5	Snack	18
4.	ANTECEDENTES	19
5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
6.	HIPÓTESIS.....	29
7.	JUSTIFICACIÓN	30
8.	OBJETIVOS	32
8.1	Objetivo general	32
8.2	Objetivos específicos.....	32
9.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
9.1	Materia prima	33
9.1.1	Mango y cáscara	33
9.1.2	Guayaba.....	33
9.1.3	Preparación de mezcla	34
9.2	Diseño experimental.....	34
9.3	Análisis estadístico	35
9.4	Proceso de secado.....	35
9.4.1	Modelos predictivos de secado.....	36
9.4.2	Coeficiente de difusividad.....	37

9.4.3	Análisis estadístico para la estimación de parámetros	38
9.4.4	Energía de activación	38
9.5	Determinación de propiedades fisicoquímicas	39
9.5.1	Contenido de humedad	39
9.5.2	Actividad de agua	39
9.5.3	Color	40
9.5.4	Textura	40
9.6	Determinación de propiedades funcionales	40
9.6.1	Compuestos fenólicos totales (Folin-Ciocalteu)	40
9.6.2	Capacidad antioxidante (ABTS).....	41
9.6.3	Capacidad antioxidante por DPPH.....	41
9.6.4	Fibra.....	42
10.	RESULTADOS Y ANALISIS	43
10.1	Cinéticas de secado.....	43
10.1.1	Modelado matemático.....	45
10.1.2	Coeficiente de difusividad	48
10.1.3	Energía de activación	50
10.2	Determinación de propiedades fisicoquímicas	51
10.2.1	Contenido de humedad	51
10.2.2	Actividad de agua	51
10.2.3	Color	53
10.2.4	Textura	54
10.3	Determinación de propiedades funcionales.....	56
10.3.1	Compuestos fenólicos totales.....	56
10.3.2	Capacidad antioxidante (ABTS).....	58
10.3.3	Capacidad antioxidante DPPH.....	59

	10.3.4 Fibra	61
11.	CONCLUSIONES	64
12.	REFERENCIAS.....	66
13.	ANEXOS	78

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la pulpa y cáscara de mango (x100 g)	14
Tabla 2. Composición de la pulpa de guayaba	15
Tabla 3. Investigaciones relacionadas con el secado de mango y guayaba	22
Tabla 4. Diseño experimental para el secado de una mezcla de cáscara y pulpa de mango y guayaba	35
Tabla 5. Modelos matemáticos cinética de secado	36
Tabla 6. Valores de k y n del modelo de Page para muestras secadas por VR.....	46
Tabla 7. Análisis de varianza difusividad.	48
Tabla 8. Difusividad durante el proceso de secado por VR.....	49
Tabla 9. Energía de activación en diferentes mezclas.	50
Tabla 10. Análisis de varianza actividad de agua (a_w)	51
Tabla 11. Resultados de a_w para muestras secadas por VR.....	52
Tabla 12. Análisis de varianza ΔE para muestras secadas por VR.	53
Tabla 13. Valores ΔE para muestras secadas por VR.....	54
Tabla 14. Análisis de varianza fuerza de fractura para muestras secadas por VR.....	54
Tabla 15. Valores de fuerza de fractura para muestras secadas por VR.....	55
Tabla 16. Análisis de varianza para CFT de muestras secadas por VR.....	56
Tabla 17. Valores de CFT para muestras secadas por VR.....	57
Tabla 18. Análisis de varianza para capacidad antioxidante ABTS.	58
Tabla 19. Valores de capacidad antioxidante ABTS para muestras secadas por VR.	59
Tabla 20. Análisis de varianza para capacidad antioxidante DPPH.	60
Tabla 21. Valores de capacidad antioxidante DPPH para muestras secadas por VR.	61
Tabla 22. Análisis de varianza para el contenido de fibra en muestras secadas por VR.	61
Tabla 23. Valores de fibra para muestras secadas por VR.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes del fruto de mango	13
Figura 2. Diagrama del sistema de secado VR	17
Figura 3. Grado de madurez del mango (NTC 5210)	33
Figura 4. Guayaba.....	34
Figura 5. Cinéticas de secado para muestras de M, G Y CM secadas por VR.....	43
Figura 6. Cinéticas de secado para mezcla 25-75 por VR	44
Figura 7. Cinéticas de secado para mezcla 50-50 por VR	45
Figura 8. Cinéticas de secado para mezcla 75-25 por VR	45
Figura 9. Curvas de secado ajustadas por el modelo de Page para muestras secadas por VR.	47
Figura 10. Curvas de secado ajustadas por el modelo de Page para muestras secadas por VR. ...	48

ABREVIATURAS

Mt	Millones de toneladas
Ha	Hectáreas
Ton	Toneladas
VR	Ventana de refractancia
H	Horas
Min	Minutos
CFT	Compuestos fenólicos totales
ANOVA	Análisis de varianza
L	Litros
M	Mango
G	Guayaba
CM	Cáscara de mango
M-90	Mango a 90°C
G-90	Guayaba a 90°C
CM-90	Cáscara de mango a 90°C
M-80	Mango a 80°C
G-80	Guayaba a 80°C
CM-80	Cáscara de mango a 80°C
M-70	Mango a 70°C
G-70	Guayaba a 70°C
CM-70	Cáscara de mango a 70°C
25M-75G-90	25% mango +75% guayaba a 90 °C
50M-50G-90	50% mango +50% guayaba a 90 °C
75M-25G-90	75% mango +25% guayaba a 90 °C
25M-75G-80	25% mango +75% guayaba a 80 °C
50M-50G-80	50% mango +50% guayaba a 80 °C
75M-25G-80	75% mango +25% guayaba a 80 °C
25M-75G-70	25% mango +75% guayaba a 70 °C
50M-50G-70	50% mango +50% guayaba a 70 °C
75M-25G-70	75% mango +25% guayaba a 70 °C
RSME	Raíz del Error Cuadrático Medio
a_w	Actividad de agua
Ea	Energía de activación
ΔE	Cambio de color
°Brix	Grados brix
TPA	Análisis de perfil de textura

1. RESUMEN

El mango y la guayaba son frutas tropicales ampliamente reconocidas por su elevado valor nutricional y su riqueza en compuestos bioactivos. Sin embargo, debido a su alta perecibilidad, presentan importantes pérdidas durante las etapas de poscosecha, lo que no solo reduce su aprovechamiento para el consumo humano, sino que también conduce al desaprovechamiento de subproductos como cáscaras y semillas, los cuales contienen compuestos de interés nutricional y funcional. Por lo tanto, el secado se ha presentado como una alternativa para disminuir estas pérdidas y prolongar la vida útil de las frutas. No obstante, muchos de los métodos tradicionales generan pérdidas de la calidad nutricional atribuido a los largos tiempos de exposición y las altas temperaturas empleadas, por ello el secado por ventana de refractancia se ha presentado como una alternativa que preserva de manera efectiva el contenido de nutrientes.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura de secado y la proporción de puré de mango y guayaba en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack elaborado con cáscara de mango. Para ello, se empleó un diseño experimental factorial con dos factores: temperatura de secado (70, 80 y 90 °C) y proporción de puré de mango y guayaba (25M-75G, 50M-50G Y 75M-25G). Las muestras fueron secadas mediante ventana de refractancia y posteriormente se evaluaron propiedades fisicoquímicas y funcionales, además del modelado matemático del proceso de secado.

Los resultados mostraron que la temperatura de 90 °C favoreció una reducción más rápida del contenido de humedad, permitiendo alcanzar el estado de equilibrio en un menor tiempo de secado. Entre los modelos evaluados, el modelo de Page presentó el mejor ajuste para describir la cinética de secado. Asimismo, el coeficiente de difusividad efectiva aumentó con el incremento de la temperatura, mientras que la energía de activación se mantuvo dentro de los rangos reportados en la literatura. La actividad de agua se mantuvo en valores seguros, entre 0.34 y 0.49, lo que contribuye a prevenir el crecimiento microbiano. Por otra parte, el cambio de color estuvo influenciado significativamente tanto por la temperatura de secado como por la proporción de la mezcla utilizada. En cuanto a las propiedades texturales, las mezclas con mayor contenido de mango presentaron los menores valores de dureza (5.68-6.50 N), mientras que las temperaturas más elevadas generaron estructuras más firmes, con valores entre 6.50 y 7.15 N. Los compuestos fenólicos totales fueron afectados de manera significativa por la mezcla y la temperatura, alcanzando valores de hasta 1029 mg AGE/100 g. Respecto a la capacidad antioxidante, los ensayos ABTS y DPPH mostraron porcentajes de inhibición de 97.39 % y 89.57 %, respectivamente. Finalmente, el contenido de fibra fue mayor en las muestras con una mayor proporción de guayaba. De igual manera, la temperatura de secado tuvo un efecto significativo sobre este parámetro.

Palabras claves: Mango, guayaba, cáscara, mezcla, temperatura, ventana de refractancia.

2. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica L*) es una fruta tropical originaria de la India, perteneciente a la familia *Anacardiaceae* que ha sido cultivada desde hace más de 4000 años. Actualmente, se cultiva en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, siendo India y China los principales países productores, alcanzando una producción de 22 Mt (millones de toneladas) por año (Bally et al., 2021; Lebaka et al., 2021).

El mango destaca por su atractivo sabor y aroma, y posee un perfil nutricional completo, es fuente de carbohidratos, lípidos, proteínas, aminoácidos y vitamina C, además es una fuente de compuestos fenólicos y carotenoides. Asimismo, la cáscara de mango ha cobrado interés como fuente de fibra dietaria y compuestos bioactivos, lo que favorece su aprovechamiento en la formulación de alimentos funcionales (Lebaka et al., 2021a). En Colombia, durante el año 2022 se registró una producción de 346.650 Ton en un área de 33.615 Ha (Agronet, 2022).

La guayaba (*Psidium guajava L*) pertenece a la familia *Myrtaceace* y es originaria de la zona tropical de América por esto, su cultivo se desarrolla en las regiones tropicales y subtropicales, lo que le permite una producción extensa a nivel mundial. Dentro de los principales países productores de guayaba se encuentran India, China, México y Brasil (Sahal et al., 2025). Esta fruta es reconocida por su valor nutricional, siendo una buena fuente de fibra, carotenoides, vitaminas, minerales y diversos compuestos fenólicos (Kurniadi et al., 2022).

Sin embargo, la guayaba presenta una rápida maduración poscosecha, caracterizada por cambios fisiológicos y bioquímicos como la decoloración de la cáscara, el ablandamiento de los tejidos, la disminución de la firmeza y la oxidación de compuestos fenólicos. Estas modificaciones aceleran el deterioro del fruto, aumentando su susceptibilidad a la descomposición y reduciendo significativamente su vida útil (Schappo et al., 2024; Shahsavari & Rastegar, 2025).

De manera similar, el mango también experimenta pérdidas considerables durante el período poscosecha, las cuales pueden oscilar entre el 30 % y el 50 % debido a factores como los daños ocasionados por bajas temperaturas durante el almacenamiento y la incidencia de enfermedades poscosecha. Estas pérdidas afectan la calidad y la disponibilidad del fruto para el consumo y la industrialización, lo que evidencia la necesidad de implementar métodos de conservación eficientes que permitan prolongar su vida útil y reducir el desperdicio de esta materia prima (Bally et al., 2021a; Kassa & Teferi, 2025).

El secado se propone como una alternativa para prolongar la vida útil de las frutas, al reducir su contenido de humedad y limitar el desarrollo microbiano y la actividad enzimática responsables del deterioro. Aunque en la industria alimentaria se emplean métodos tradicionales como el secado por aire caliente (Martínez-Sánchez et al., 2024), éstos requieren tiempos prolongados de proceso, con alto consumo energético y que normalmente implican pérdidas de

componentes volátiles y compuestos sensibles al calor que afectan la calidad final (López & Hincapié-Llanos, 2024; Radojčin et al., 2021). Por lo tanto, es necesario implementar técnicas de secado que permitan una retención significativa de la calidad fisicoquímica y funcional de frutas.

En este contexto, el proceso de secado por ventana de refractancia (VR) se presenta como una tecnología eficiente, que en comparación con otras técnicas como el secado por aspersión y la liofilización, ofrece menores costos de operación (Ortiz-Jerez et al., 2022). Además, este proceso garantiza una menor exposición del alimento a las altas temperaturas. Como resultado, mejora la retención de nutrientes, color y textura. Su eficiencia se basa en la transferencia de calor cuando el producto en forma de capa fina se extiende sobre una película transparente que permanece en contacto directo con el medio caliente (Talukdar et al., 2025). Diversos estudios han demostrado que la VR permite tiempos de secado más cortos en comparación con otros métodos, logrando mayor retención de la calidad fisicoquímica, nutricional y funcional, como color, compuestos fenólicos, como los flavonoides y otros componentes funcionales como los carotenoides, el ácido ascórbico, la capacidad antioxidante de los compuestos, entre otros (Kaveh et al., 2025; Martínez-Sánchez et al., 2024; Minuye et al., 2021; Rajoriya et al., 2021).

Los “snacks” son pequeñas cantidades de alimento que se suelen consumir a lo largo del día. Debido a los cambios en el estilo de vida y de los hábitos alimentarios ha habido un aumento del consumo de este tipo de alimentos. No obstante, muchos de estos productos presentan un alto contenido de grasa y azúcar lo que los hace poco saludables. Es por esto por lo que el consumo de “snacks” a base de frutas se destaca como una opción nutritiva que permite conservar gran parte de los componentes nutricionales presentes en la fruta, incluyendo vitaminas, minerales y antioxidantes, ayudando a la ingesta adecuada de nutrientes y a la prevención de enfermedades (Almoraie et al., 2021; Yeganehzad et al., 2020).

El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack a base guayaba y tanto cáscara como pulpa de mango.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Mango

El mango (*Mangifera indica. L*) perteneciente a la familia *Anacardiaceae*, es una de las seis principales frutas tropicales comercializadas a nivel global, siendo Asia el principal productor mundial (PNUD, 2023). Este fruto se caracteriza por ser fuente significativa de compuestos bioactivos y micronutrientes, ya que contiene pectina, taninos, ácidos orgánicos, antioxidantes, vitamina C, E y A, carotenoides y fenoles. Asimismo, aporta minerales como el hierro, fósforo, calcio, potasio y magnesio (Pacheco-Jiménez et al., 2022).

El fruto del mango es una drupa carnosa que presenta una forma alargada u ovoide (Figura 1). La cáscara es lisa, gruesa y de color variable. La pulpa puede variar en grosor, sabor y textura; generalmente es blanda, jugosa, fibrosa y dulce; su color varía desde los amarillos a los tonos naranjas. La semilla tiene una textura dura, es gruesa y fibrosa (Mandal et al., 2023).

Entre las diferentes partes del fruto, la cáscara de mango ha tenido interés por su potencial como subproducto agroindustrial con aplicaciones funcionales debido a su riqueza en fibra dietética. Su composición incluye compuestos bioactivos, como mangiferina, ácidos fenólicos, polifenoles, flavonoides, carotenoides y taninos, los cuales le otorgan propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Abdelmontaleb et al., 2025; Kabir et al., 2024).

La USDA (2024) reporta que en una porción de 100 g de mango fresco se compone típicamente por un contenido de agua mayoritario (83.2 g), además de 10.7 g de azúcares, 1.8 g de fibra dietética total, 0.56 g de proteína y 0.57 g de lípidos totales. También se caracteriza por su riqueza en compuestos bioactivos y micronutrientes, entre ellos: 25.5 mg de ácido ascórbico (vitamina C), así como 10.3 mg de magnesio (Mg), 165 mg de potasio (K) y 16 mg de fósforo (P), entre otros componentes destacados. En el trabajo de Lebaka et al., (2021) se reportaron resultados similares, los cuales se presentan en la Tabla 1.

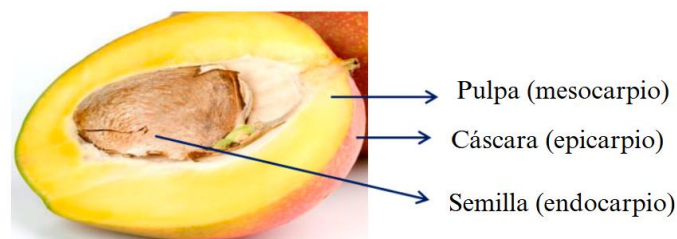


Figura 1. Partes del fruto de mango

Adaptado de Lebaka et al., (2021)

Tabla 1. Composición de la pulpa y cáscara de mango (x100 g)

Macronutrientes (g)	Pulpa	Cáscara
Agua	83,46	72,5
Carbohidratos, por diferencia	14,98	28,2
Proteína	0,82	3,6
Lípidos totales (grasas)	0,38	2,2
Azúcares, totales	10,7	25
Fibra dietética	1,6	40 – 72,5
Minerales (mg)		
Calcio	11	150
Magnesio	10	100
Potasio	168	75
Fósforo	14	-
Vitaminas (mg)		
Vitamina C	36,4	18 – 25,7
Tiamina	0,028	-
Riboflavina	0,038	-
Niacina	0,669	-
Carotenoides (µg)		
β -caroteno	640	130
α-caroteno	9	-
β-criptoxantina	10	600
Licopeno	3	-
Luteína y zeaxantina	23	299
Polifenoles (mg)		
Catequina	1,7	-
Mangiferina	-	169
Quercetina	2,2	6,5

Adaptado de Lebaka et al., (2021)

La variedad Tommy Atkins se originó en Estados Unidos durante el siglo XX como resultado de la selección y propagación de una plántula derivada de la variedad Mulgoa. Esta variedad se caracteriza por su alto rendimiento, amplia adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo y buena resistencia al manejo poscosecha. Además, presenta frutos de tamaño mediano a grande, con una cáscara de color rojo intenso sobre fondo verde o amarillo, lo que la convierte en una de las variedades de mango más cultivadas y comercializadas a nivel mundial (Bally et al., 2021b).

Diversas investigaciones que han sido reportadas en la literatura han demostrado que la variedad Tommy Atkins es la más utilizada (López & Hincapié-Llanos, 2024).

3.2 Guayaba

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una planta de la familia *Myrtaceae*, el género *Psidium* contiene alrededor de 150 especies, es una fruta originaria de los trópicos americanos, el fruto puede presentar forma redondeada o de pera, se caracteriza por tener una pulpa aromática, de textura suave y ligeramente pegajosa. El color de la pulpa muestra una amplia gama desde tonos blancos, amarillos, rosados, anaranjados o salmón y, esta puede ser compacta, con pocas semillas concentradas en el centro, o más ligera, incorporando numerosas semillas distribuidas en toda la pulpa. Se encuentra principalmente producida en países como India y Pakistán con aproximadamente el 50% de la producción mundial, México con un 25%, mientras que el 25% restante proviene de países como Brasil, Egipto y Colombia (Angulo-López et al., 2021; Ropero-Osorio et al., 2023).

Esta fruta es reconocida no solo por su sabor y aroma, sino también por su alto valor nutricional, principalmente por su contenido de vitamina C con 228 mg por 100 g, además de aportar fibra, minerales como potasio, calcio, hierro y fósforo y antioxidantes como el licopeno, además no son fuente significativa de carbohidratos, grasas y proteínas, así, pero sí de agua. Su concentración de vitamina C es considerablemente mayor que en frutas cítricas como naranjas y limones, aportando un significativo contenido de compuestos fenólicos y sustancias antioxidantes por lo que se la conoce como una "superfruta" (Angulo-López et al., 2021; Ropero-Osorio et al., 2023). En la Tabla 2 se presenta la composición nutricional de la pulpa de guayaba según lo reportado por la USDA (2019).

Tabla 2. Composición de la pulpa de guayaba

Compuesto	Cantidad (g)
Agua	80.8
Carbohidratos, por diferencia	14.3
Proteína	2.55
Lípidos totales (grasas)	0.97
Azúcares, totales	9.82
Fibra dietética	5.92
Vitamina C (ácido ascórbico total, mg)	228

Fuente: USDA (2019)

La producción mundial de guayaba supera los 50 millones de toneladas anuales; sin embargo, se estima que entre el 10 % y el 15 % de la producción se pierde cada año debido a procesos de sobremaduración durante la etapa postcosecha. Estas pérdidas están asociadas a la alta perecibilidad del fruto y a los cambios fisiológicos que ocurren después de la cosecha, lo que ocasiona un deterioro acelerado de su calidad y reduce su disponibilidad para el consumo y la transformación industrial. Como consecuencia, se generan importantes pérdidas económicas a lo largo de la cadena productiva y se limita el aprovechamiento integral de este recurso agrícola (Bvlappa et al., 2024). En Colombia, para el año 2022 se registró una producción de 163.116 t en un área cultivada de 12.293 ha (Agronet, 2022).

3.3 Secado

El secado es un método que permite prolongar la vida útil de los alimentos, haciendo una reducción de la humedad mediante la aplicación de calor. Durante el proceso de secado ocurre una transferencia simultánea de calor y de masa; la transferencia de calor puede darse por convección, conducción o radiación dependiendo del tipo de secado, a su vez, la transferencia de masa se da por la evaporación del agua presente en el alimento. Esta disminución de humedad garantiza la inhibición del crecimiento microbiano y la proliferación de bacterias (Nansereko et al., 2022). Además, el proceso de secado también puede influir en las propiedades nutricionales y sensoriales del producto, por lo que es fundamental la optimización de las técnicas utilizadas para conservar dichos atributos (Kassa & Teferi, 2025).

Los métodos de secado convencionales suelen implicar un consumo energético elevado debido a los altos tiempos que se emplean en el proceso, lo cual también genera altos costos de producción. Además, la exposición a las altas temperaturas puede afectar las propiedades nutricionales, sensoriales y fisicoquímicas de los productos (Martínez-Sánchez et al., 2024). Las diversas técnicas de secado utilizadas dentro de la industria son clasificadas en cuatro generaciones, la primera incluye el secado por lecho y el secado convectivo; la segunda, secadores de tambor y por aspersión; la tercera, liofilización; y la cuarta, secado por bomba de calor, infrarrojos, microondas y VR, además de otros métodos combinados (Kalse et al., 2025).

En cuanto a algunas técnicas de secado representativas, el secado por aire caliente se basa en la circulación de una corriente de aire caliente alrededor del producto, facilitando la evaporación del agua mediante transferencia de calor por convección, mientras, la liofilización consiste en congelar el producto primero y luego reducir la presión en un entorno de vacío, permitiendo que el agua pase directamente de estado sólido a vapor sin pasar por el estado líquido, generando un alto consumo de energía, mediante sublimación. (Bhattacharjee et al., 2024). Finalmente, VR es una técnica moderna que permite un secado rápido y uniforme, utilizando radiación para calentar la

superficie del alimento y acelerar la evaporación del agua sin dañar sus propiedades (Waghmare, 2021).

3.4 Ventana de refractancia

El secado por VR o también conocido como hidrosecado conductivo, es una técnica de secado de la cuarta generación, por lo que es relativamente nueva si se compara con otras técnicas. Este método permite secar productos con componentes que son sensibles al calor y conserva características como el color y componentes bioactivos, atribuido a las bajas temperaturas de operación y tiempos cortos de exposición (Kumar et al., 2022). Este método de secado utiliza agua caliente circulante a diferentes temperaturas, sin sobrepasar la temperatura de ebullición, para llevar energía térmica al material que se va a secar, este se extiende como una capa delgada sobre una película de polietileno transparente llamada Mylar la cual se mueve sobre agua caliente circulante, conduciendo a un secado rápido de la muestra (Lalita et al., 2024).

Todos los mecanismos de transferencia de calor están presentes en el secado por VR, ya que el agua caliente transfiere energía térmica dentro de sí misma por conducción, convección y radiación, lo que provoca una rápida evaporación de la humedad del producto. Sin embargo, los mecanismos predominantes son la convección que se da desde el agua hacia el Mylar y la conducción a través del Mylar hacia el alimento, la contribución de la transferencia de calor por radiación que se da desde agua hasta los alimentos es muy pequeña. Factores como la temperatura del agua, el espesor del producto y de la película y la humedad del producto a secar tienen una influencia directa en la eficiencia del secado (Waghmare, 2021). Algunos autores han demostrado que la transferencia de calor por radiación se considera significativa cuando el espesor de la capa del alimento es pequeño (1 mm); y es por esto por lo que cuando su espesor es alto, la transferencia de calor ocurre con una contribución más significativa por conducción debido al espesor adicional del sólido (López & Hincapié-Llanos, 2024).

En la Figura 2 (Waghmare, 2021) se muestra un diagrama representativo del sistema de secado por VR.

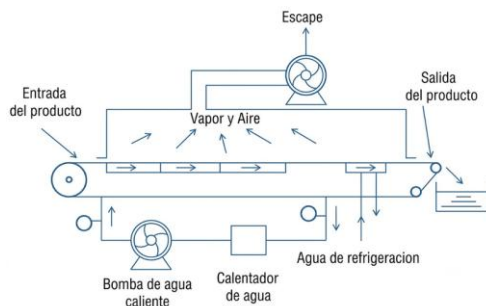


Figura 2. Diagrama del sistema de secado VR

Adaptada de: Waghmare (2021)

3.5 Snack

El término “snack” se utiliza para describir pequeñas porciones de alimentos listas para el consumo, que generalmente se ingieren entre las comidas principales y suelen aportar una cantidad considerable de energía a la dieta. Tradicionalmente, estos productos se elaboran mediante procesos como la extrusión, el tostado, el horneado o la fritura, los cuales permiten obtener características sensoriales atractivas, como textura crujiente y sabor agradable. Debido a los cambios en los estilos de vida y a la limitada disponibilidad de tiempo para la preparación de alimentos, el consumo de snacks se ha incrementado considerablemente, llegando a representar una proporción importante de la ingesta diaria de nutrientes (Bozdogan et al., 2024).

En los últimos años, se ha promovido el desarrollo de snacks con una mejor calidad nutricional mediante la incorporación de frutas y subproductos derivados de estas. Esta estrategia busca no solo aprovechar materias primas con alto valor biológico, sino también mejorar el perfil nutricional de los productos finales, reduciendo el contenido de grasa e incrementando los niveles de fibra dietaria, proteínas y compuestos bioactivos. Como resultado, los snacks elaborados a partir de frutas y sus subproductos se han consolidado como una alternativa atractiva para satisfacer la demanda de alimentos más saludables y funcionales por parte de los consumidores (Gomes et al., 2023).

Los snacks se clasifican de acuerdo con su origen alimentario y su proceso de elaboración, siendo los derivados de granos lo más destacados; no obstante, también se elaboran otros tipos de snacks a partir de frutas y verduras, frutos secos, leche, diferentes carnes y productos marinos, aunque varía la fuente del alimento, la mayoría de los snacks se conservan a temperatura ambiente debido a su bajo contenido de humedad y actividad de agua (Serna-Saldivar, 2022).

De acuerdo con cifras del 2020, el mercado global de snacks tenía un valor aproximado de 520 mil millones de dólares y se espera que crezca a más de 700 mil millones de dólares para 2025, esperando que el mercado crezca a una tasa anual compuesta del 6,2 % entre 2019 y 2025 (Serna-Saldivar, 2022). En Colombia, el 59 % de la población consume snacks principalmente como una forma de entretenimiento, mientras el 38 % lo hace durante reuniones familiares o con amigos, el resto lo hace para satisfacer un antojo o un logro alcanzado a lo largo del día. Por lo tanto, los productos elaborados a partir de fruta deshidratada pueden ser una opción atractiva para los consumidores (Acosta Castaño et al., 2023).

4. ANTECEDENTES

Los métodos de secado presentan una alternativa viable para incrementar la vida útil de una gran variedad de alimentos. Sin embargo, uno de los desafíos que se encuentran en este tipo de métodos es la pérdida de propiedades fisicoquímicas y funcionales durante el proceso. Por ello se han desarrollado e investigado métodos de secado que permitan una conservación más eficiente de dichas características.

En este sentido, autores como Rakariyatham et al., (2025) investigaron los efectos de distintos métodos de secado en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de orujos de guayaba. Para ello se sometieron a secado con aire caliente a 50 °C, secado al vacío a 50 °C y liofilización con congelación a -30 °C y posterior calentamiento. Evaluaron parámetros como humedad, proteínas, grasas, cenizas, fibra dietética, pectina, licopeno, CFT (contenido fenólico total), color, densidad, porosidad y tamaño de partícula, pH, actividad de agua, solubilidad y capacidad de absorción de agua y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que la liofilización permitió una mejor conservación de fibra, licopeno y compuestos fenólicos totales, así como mayor porosidad, solubilidad y capacidad antioxidante. El secado con aire caliente generó polvos con mayor humedad, pH y tamaño de partícula. No se observaron diferencias significativas en grasa, cenizas, proteínas ni en la densidad de las partículas, mientras el color se redujo con el uso de calor, así como la actividad de agua fue menor en las muestras liofilizadas.

Silva et al., (2024) estudiaron el modelo matemático para el secado de cáscaras de guayaba para la obtención de harina. Para ello, utilizaron cáscaras de guayaba, las cuales fueron secadas en un secador convectivo a temperaturas de 45, 55, 65 y 75 °C, evaluando además el contenido de humedad, el coeficiente efectivo de difusión y la energía de activación. Los resultados mostraron que las temperaturas altas redujeron el tiempo de secado de las muestras y favorecieron una mayor eliminación de la humedad. De los modelos utilizados en el análisis, el modelo de Midilli mostró el mejor ajuste de los datos experimentales. En cuanto a la difusividad, esta aumentó de manera lineal con el incremento de la temperatura, por otro lado, la entalpía y la entropía disminuyeron conforme aumentó de la temperatura, mientras que la energía libre tuvo un comportamiento inverso, aumento con el incremento de la temperatura.

Kalsi et al., (2023) elaboraron un cuero de fruta a partir de una mezcla de papaya, guayaba y *mirika tenga*, las cuales se procesaron en forma de puré con proporciones de 60:30:10 (P1); 50:30:20 (P2); 40:30:30 (P3) respectivamente, haciendo una adición de azúcar y ácido cítrico al 0,2%. Las muestras con un espesor de 10 mm se secaron en un secador convectivo a 60 °C. Se evaluaron sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, contenido de humedad, color y se realizó un análisis sensorial. Los resultados indicaron que el valor de los sólidos solubles totales fue mayor en las muestras secas respecto a las muestras frescas, siendo mayor en la proporción P3, el valor de pH más alto fue obtenido para P1, la cual, a su vez, obtuvo el valor de acidez más bajo. El

menor contenido de humedad fue obtenido por P3, encontrando que la adición de los sólidos redujo el nivel de humedad, el análisis de color indicó que el mayor contenido de azúcar combinado con la fruta provocó un color marrón en todas las muestras. Por último, el análisis sensorial demostró la alta preferencia de los consumidores por P1.

Kumar et al., (2022) realizaron el modelado y simulación de la transferencia de masa y calor del secado de pulpa de mango por VR. La pulpa de mango tuvo un espesor de 6 mm y fue sometida a temperaturas de secado de 75, 80, 85 y 90 °C. Determinaron la curva de secado mediante modelos matemáticos, la difusividad de humedad efectiva y la energía de activación, por último, se aplicó una simulación para conocer los perfiles de calor y humedad durante el proceso. Los resultados obtenidos mostraron que el tiempo de secado se redujo con el aumento de la temperatura, siendo mayor en muestras más gruesas. Los modelos de Page, Page modificado y el modelo exponencial de dos términos fueron los que presentaron mejor ajuste de los datos experimentales. La difusividad efectiva aumentó con la temperatura y el espesor, y se obtuvo una ecuación ajustada para la energía de activación en función de la temperatura. La simulación de los perfiles de humedad indicó una diferencia de humedad y temperatura entre la base y la superficie de la pulpa durante el secado.

Ramadan et al., (2022) estudiaron el efecto de la temperatura del agua (80, 85 y 90 °C) y del espesor de la pulpa de guayaba (1, 2 y 3 mm) en el proceso de secado por VR, con la finalidad de determinar las condiciones óptimas de operación. Utilizaron un equipo de secado por VR y evaluaron variables como el contenido de humedad, la tasa de secado, eficiencia energética, capacidad de rehidratación y color. Encontraron que una mayor temperatura de secado y un menor grosor de las muestras, aumentaron la velocidad de secado y redujeron el contenido de humedad. El mejor índice de rehidratación se consiguió para las muestras secadas a 85 °C y 1 mm de espesor. Se observó que el proceso de secado afectó significativamente el color de las muestras, donde las menores temperaturas presentaron menores cambios. Finalmente, las mejores condiciones de secado fueron una temperatura de 85 °C y un espesor de 2 mm.

Frabetti et al., (2022) compararon las propiedades fisicoquímicas de polvos de guayaba obtenidos por VR y liofilización. Para ello utilizaron pulpa de guayaba con espesores de 2 y 3 mm, el secado por VR se realizó a 98 °C, el proceso de liofilización se realizó por congelación a -60 °C y posterior sublimación por calentamiento, con las muestras secas, se sometieron a un proceso de molienda. Evaluaron la actividad antioxidante, CFT, carotenoides, contenido de humedad, actividad de agua, tiempo de dispersión del polvo, densidad aparente, densidad de partículas, porosidad y color. Los resultados mostraron que los polvos por VR mostraron menor humedad y actividad de agua ($\sim 0,3$), menor tiempo de dispersión y mayor densidad. La porosidad fue mayor en los liofilizados. El color no presentó cambios significativos. La capacidad antioxidante y el CFT fueron superiores en VR, mientras que los carotenoides destacaron en liofilización.

Shende & Datta (2020) optimizaron los parámetros del proceso de secado por VR, comparándolo además con métodos convencionales como el secado en bandeja y en horno. Para

ello, emplearon un diseño experimental de superficie de respuesta, considerando la temperatura y el espesor como factores independientes, con un total de 13 experimentos. La pulpa de mango se sometió a temperaturas de secado de 85, 90 y 95 °C, con espesores de 2,3 y 4 mm. Evaluaron el tiempo de secado, el contenido de ácido ascórbico, CFT y dureza, la optimización del proceso y la comparación con los métodos de secado convencionales evaluando color, actividad de agua y microestructura del polvo de mango. Los resultados mostraron que el aumento de la temperatura y la disminución del espesor redujeron el tiempo de secado, mientras la mayor retención de ácido ascórbico se dio a 3 mm y en el caso del CFT para el espesor de 4 mm, mientras que la dureza disminuyó con el aumento de la temperatura. La condición óptima del proceso se obtuvo a 95 °C y 2,49 mm. En la comparación con los métodos convencionales de secado, el proceso por VR mostró menor tiempo de secado, mejor retención de CFT, menor dureza, mejor preservación de color y microestructura.

Leiton-Ramirez, Ayala y Ochoa (2020), evaluaron el efecto de diferentes métodos de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de snack de guayaba. Utilizaron pulpa de guayaba con espesor de 2 mm, el secado convectivo se realizó a 60 °C, el secado por VR a 90 °C y la liofilización se realizó con congelación a -35 °C y posterior calentamiento a 35 °C. También se evaluó la humedad, actividad de agua, color, porosidad, contenido de vitamina C y carotenoides. Los resultados obtenidos mostraron que las muestras secadas por VR obtuvieron menores valores de humedad, lo que indica una menor a_w , de igual manera se presentó una mejor retención del color en comparación con los otros métodos. Las pérdidas de carotenoides y vitamina C fueron similares para VR y liofilización, sin embargo, la liofilización presentó una variación mínima de volumen y una mayor porosidad.

Izli et al., (2017) estudiaron la influencia de diferentes técnicas de secado en los parámetros de secado del mango, en el que se compararon métodos como la liofilización, secado por microondas y secado por aire caliente. Las muestras de mango se cortaron en trozos de 3 mm, el secado se realizó con aire caliente (60, 70 y 80 °C). Evaluaron el color, características de secado, capacidad antioxidante y contenido fenólico total de las rodajas de mango. Se aplicaron diversos modelos matemáticos, entre ellos el modelo de Midilli, el modelo de dos términos y el modelo de Page siendo estos tres los que mejor se ajustaron. En cuanto al color, la liofilización fue quien conservar mejor, mientras que todos los métodos de secado provocaron disminución de capacidad antioxidante en un rango de 18,4 % a 54,6 %, el contenido fenólico fue significativamente mayor en las muestras tratadas con microondas, mientras que el valor más bajo se registró en aquellas sometidas a secado por aire caliente a 80 °C.

Zotarelli et al., (2015) evaluaron el efecto de las variables de proceso de secado por VR en pulpa de mango, utilizando pulpa de mango de la variedad Tommy Atkins con temperaturas de secado de 75, 85, y 95 °C y espesores de 2, 3 y 5 mm. Evaluaron la transmisividad del Mylar con y sin pintura negra, las velocidades de secado de la pulpa de mango y las mediciones de la temperatura de superficie de la pulpa. Los resultados mostraron que la transmisividad del Mylar

fue menor con la aplicación de la pintura, lo que aumentó la resistencia conductiva. El aumento de la temperatura redujo los tiempos de secado, al igual que lo hizo la disminución del espesor de las muestras, este último tuvo un efecto en las tasas de secado demostrando que espesores mayores generan tasas menores, estableciendo que los espesores cercanos 3 mm tuvieron la mejor condición de secado.

La Tabla 3 presenta algunas investigaciones relacionadas con el secado de mango y guayaba.

Tabla 3. Investigaciones relacionadas con el secado de mango y guayaba

Referencia	Estudio	Variables de respuesta	Resultados
Rakariyatham, K., Boonyapranai, K., Laokuldilok, T., Utama-ang, N., Nutprem, A., Kaewprasit, K., & Tatongjai, K. (2025a).	Impacto de diferentes métodos de deshidratación sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del polvo de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L) preparado a partir de orujos blancos y rosados	-Humedad -Proteína -Grasas -Cenizas -Fibra dietética -Pectina -Licopeno -CFT -Color -Densidad, porosidad, tamaño de partícula -PH -Actividad de agua	El contenido de humedad fue mayor en los polvos secados con aire caliente y menor en los liofilizados. Los métodos de secado no afectaron significativamente el contenido de grasa, cenizas, y proteína, mientras que la fibra y la capacidad antioxidante se conservó en mayor proporción mediante la liofilización. El color se vio afectado por el proceso de secado con calor con una disminución de este parámetro. Los polvos obtenidos por liofilización presentaron mayor porosidad, menor densidad y actividad de agua, mientras que los valores de pH fueron mayores para las muestras secadas por aire caliente.

		-Solubilidad y capacidad de absorción de agua -Capacidad antioxidante	
Silva, L. C. de M., Souza, D. G., Mesquita, A. A., Medeiros, E. C. N., Romani, V. P., Caliari, M., Plácido, G. R., Resende, O., Oliveira, D. E. C. de, & Silva, M. A. P. da. (2024).	Cinética de secado y propiedades termodinámicas de la cáscara de guayaba	-Contenido de humedad -Cinéticas de secado -Difusividad -Entalpía y entropía -Energía libre	El aumento de la temperatura redujo el tiempo de secado de las muestras y favoreció una mayor eliminación de la humedad. El modelo de Midilli mostró el mejor ajuste de los datos experimentales. La difusividad aumentó de manera lineal con el aumento de la temperatura, por otro lado, la entalpía y la entropía disminuyeron con el aumento de la temperatura, mientras que la energía libre tuvo un aumento con el incremento de la temperatura.
Kalsi, G., Baruah, L.D., Gogoi, M. (2023).	Cualidades sensoriales y funcionales del cuero de fruta preparado a partir de guayaba (<i>Psidium guajava</i>), papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y mirika tenga (<i>Parameria polyneura</i>)	-Sólidos solubles totales -pH -Acidez titulable -Contenido de humedad -Color -Análisis sensorial	Los sólidos solubles totales fueron mayores en las muestras secas en comparación con las muestras frescas. El valor de pH más alto fue obtenido para la proporción con mayor contenido de mango y menor contenido de mirika tenga, esta misma proporción tuvo el valor más bajo de acidez, esta misma proporción presentó los valores de aceptabilidad sensorial más altos. Además, la proporción con mayor cantidad de azúcar tuvo el contenido de humedad más bajo, el análisis de color indico que el mayor contenido de azúcar combinado con la fruta provocó un color marrón en las muestras.

Kumar, M., Madhumita, M., Srivastava, B., & Prabhakar, P. K. (2022).	Modelado matemático y simulación del secado de la ventana de refractancia de pulpa de mango para la distribución de humedad, temperatura y flujo de calor	-Modelado matemático de la curva de secado -Determinación de la difusividad efectiva -Energía de activación	El tiempo de secado disminuyó a medida que se incrementó la temperatura del proceso, lo cual también se reflejó en un aumento en la difusividad efectiva del alimento. De los modelos aplicados, Page, Page modificado y el modelo exponencial de dos términos mostraron el mejor ajuste de los datos. Además, obtuvieron la ecuación ajustada que describe la energía de activación en función de la temperatura.
Ramadan, A. H., Ghanem, T. H., & Eissa, A. S. (2022).	Algunos factores de ingeniería que afectan el secado de la guayaba por ventana de refractancia	-Contenido de humedad -Índice de rehidratación -Evaluación del color	Las temperaturas mayores y los espesores menores presentaron una reducción en el tiempo de secado, así como una mayor disminución del contenido de humedad y aumento de la velocidad de secado. Además, al aplicar las temperaturas más elevadas, se presentaron cambios de color significativos, la mayor capacidad de rehidratación se obtuvo para el secado a 85 °C.
Frabetti, A. C., Durigon, A., Laurindo, J., de MORAES, J. O., & Carciofi, B. (2022).	Caracterización fisicoquímica y cuantificación de compuestos bioactivos del polvo de guayaba producido por secado con cinta colada	-Actividad antioxidante -CFT -Carotenoides -Color -Contenido de humedad -Actividad de agua	El contenido de humedad y de actividad de agua fue menor para el secado por VR frente a la liofilización, presentando de igual manera un tiempo de dispersión menor. Los polvos producidos por VR presentaron un valor mayor de densidad aparente y densidad de partícula y menores valores de porosidad. Los procesos no modificaron de manera significativa el color rojo del polvo, el CFT se conservó por ambos métodos y el contenido de carotenoides fue mayor para el proceso de liofilización.

		-Tiempo de dispersión del polvo -Densidad aparente, densidad de partículas y porosidad	
Shende, D., & Datta, A. K. (2020).	Estudio de optimización para el proceso de secado de por ventana de refractancia del mango variedad Langra	-Tiempo de secado -Ácido ascórbico -CFT -Dureza -Optimización de las condiciones de secado -Color -Actividad de agua	Los resultados mostraron que el aumento de la temperatura y la disminución del espesor redujeron los tiempos de secado, el aumento de la temperatura favoreció la retención de ácido ascórbico y el incremento del CFT, este aumento de temperatura disminuyó la dureza del producto. La optimización se logró a 95 °C y 2,49 mm de espesor. El secado por VR requiere menos tiempo y conserva mejor los nutrientes frente a otros métodos convencionales.
Leiton-Ramírez, Y. M., Ayala-Aponte, A., & Ochoa-Martínez, C. I. (2020).	Propiedades fisicoquímicas de los snacks de guayaba según la tecnología de secado	-Humedad -Actividad de agua -Porosidad -Volumen -Vitamina C -Carotenoides -Actividad de agua -Color	Las muestras secadas por VR requirieron un menor tiempo para reducir el contenido de humedad y exhibieron cambios de color menores. El proceso de secado redujo el contenido de vitamina C y carotenoides, la mejor conservación de los β -carotenos fue para la liofilización. La variación mínima de volumen y la mayor porosidad fue obtenida por el proceso de liofilización.

Izli, N., Izli, G., & Taskin, O. (2017).	Influencia de diferentes técnicas de secado en los parámetros de secado del mango	-Color -Capacidad antioxidante -CFT -Modelado matemático	Las técnicas de secado influyeron significativamente en la cinética de secado, el color, la capacidad antioxidante y el CFT. De los nueve modelos evaluados, los de Midilli, dos términos y Page fueron los que mejor describieron la cinética del proceso. En cuanto al color, la liofilización conservó valores más cercanos a la fruta fresca, mientras la capacidad antioxidante y el TPC disminuyeron con la mayoría de las técnicas.
Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015).	Efecto de las variables de proceso sobre la velocidad de secado de la pulpa de mango por ventana de refractancia	-Transmisividad de la película de Mylar -Velocidad de secado de la pulpa de mango -Mediciones de temperatura	La transmisividad del Maylar fue menor cuando se le aplicó una capa de pintura negra. Las temperaturas más altas del agua generaron mayores tasas de secado, mientras que los espesores mayores presentaron tasas de secado más bajas. El espesor cercano a los 3 mm presentó las mejores condiciones de secado.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la industrialización en los últimos años ha aumentado el consumo de frutas a nivel mundial, lo que conlleva a un aumento significativo en la generación de residuos como semillas y cáscaras, los cuales son descartados en diferentes etapas, generando así un impacto negativo en el medio ambiente (Salazar-López et al., 2023). Las frutas tropicales representan el 3% de la producción agrícola mundial (FAO, 2023) y su relevancia radica en sus fuentes de compuestos bioactivos, características sensoriales, capacidad nutricional y funcional (Alvarez-Rivera et al., 2020). Por ello la industria alimentaria ha intensificado la investigación para la obtención de productos más saludables, centrándose en la sostenibilidad, en respuesta al creciente interés de los consumidores por una alimentación nutritiva y respetuosa con el medio ambiente (Martins et al., 2025).

Frutas como el mango (*Mangifera indica*) y la guayaba (*Psidium guajava L*) destacan en su valor nutricional y cualidades bioactivas (de Faria Cardoso et al., 2023; Roperlo-López et al., 2021). En el caso del mango aproximadamente el 20% de la producción se destina a la elaboración de productos como jugos, néctares, mermeladas, pulpa fresca y en polvo, produciendo 14–20 millones de toneladas de residuos anuales a nivel mundial que consisten en cáscara (15–20%), semilla (20–45%) y bagazo, estimando un 35–60% del peso del mango en desperdicio (Cárdenas-Hernández et al., 2024). Por otro lado, la guayaba es un fruto climatérico que presenta importantes desafíos postcosecha debido a su rápida maduración y corta vida útil, la cual suele limitarse a tres o cuatro días. En el ámbito industrial, su procesamiento genera grandes volúmenes de residuos principalmente semillas trituradas, cáscaras y pulpa residual, que se estiman en alrededor de 330 millones de toneladas a nivel mundial (Ting et al., 2025; Danielski y Shahidi, 2023).

Aunque el secado convencional con aire caliente se caracteriza por ser una técnica simple y de bajo costo, las temperaturas relativamente elevadas empleadas durante el proceso suelen provocar una disminución en la calidad del producto, especialmente en lo relacionado con el contenido de compuestos bioactivos y el valor nutricional (Rakariyatham et al., 2025). En este contexto, el secado por ventana de refractancia surge como una alternativa prometedora para el aprovechamiento de subproductos agroindustriales, como la cáscara de mango, debido a su capacidad para preservar en mayor medida las propiedades nutricionales y funcionales del material procesado.

Por lo tanto, resulta necesario determinar las condiciones de temperatura más adecuadas para el secado por ventana de refractancia, con el fin de garantizar la conservación de las propiedades nutricionales y funcionales del producto final. De esta manera surge la siguiente pregunta de investigación.

¿Cuál es el efecto de la temperatura de secado por ventana de refractancia y de la proporción de mezcla entre cáscara de mango, puré de mango y puré de guayaba sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack deshidratado?

6. HIPÓTESIS

Los snacks elaborados a partir de una mezcla de puré de mango y guayaba enriquecida con cáscara de mango, y sometidos a secado por ventana de refractancia a diferentes temperaturas (70, 80 y 90 °C), presentarán una mayor retención de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales en comparación con los snacks elaborados exclusivamente a partir de mango o guayaba y secados bajo las mismas condiciones. Esta mejora se atribuye al efecto combinado de la composición de la mezcla y de los compuestos bioactivos aportados por la cáscara de mango, lo que favorecerá la conservación de la calidad nutricional y funcional del producto final.

7. JUSTIFICACIÓN

En el 2023, las exportaciones mundiales de mango y guayaba alcanzaron los 2.3 millones de toneladas, representando un incremento del 1% respecto al año anterior. Este crecimiento se atribuye al creciente reconocimiento de los beneficios nutricionales de estas frutas, lo que ha impulsado a su demanda por parte de los consumidores, estimando que la producción mundial aumentará un 3.6% anual en la próxima década, pasando de 60 Mt en el periodo base a 86 Mt para 2033, siendo Asia la principal región productora de mango, aportando más de 70% de la producción mundial (OCDE & FAO, 2024).

Los subproductos y sus extractos pueden aprovecharse en la elaboración de nuevos alimentos funcionales o en la mejora mediante la adición, sustitución o enriquecimiento. Diversos estudios han reportado su potencial en la industria alimentaria y sus efectos positivos en la salud, entre los subproductos más destacados se encuentran la cáscara y semilla de mango, el orujo de uva y la cáscara de piña, estos compuestos bioactivos han sido incorporados en diferentes formulaciones, como en botanas saludables con la incorporación de 15 % de cáscara de mango liofilizada, incrementando la concentración de compuestos fenólicos y antioxidantes, mejorando su capacidad antioxidante (Preciado-Saldaña et al., 2022). Por su parte, las semillas de mango presentan un perfil de compuestos bioactivos diferente al de la cáscara, con una menor presencia de compuestos pigmentarios como antocianinas y carotenoides. Debido a sus características fisicoquímicas y a su composición, su aprovechamiento industrial se ha orientado principalmente hacia la extracción de aceites y la obtención de harinas para su incorporación en diversas formulaciones alimentarias.

En contraste, la cáscara de mango ha despertado un mayor interés como ingrediente funcional debido a su elevada concentración de compuestos fenólicos y su potencial antioxidante, lo que la convierte en una alternativa más atractiva para el enriquecimiento nutricional de productos alimenticios (Lebaka et al., 2021). En contraste, la cáscara constituye una fuente importante de compuestos fenólicos, pectinas, flavonoides y carotenoides lo que ha impulsado su uso en snack deshidratados (James et al., 2025).

El proceso de secado desempeña un papel determinante en el aprovechamiento de residuos, ya que el método y temperatura empleada pueden afectar de manera significativa las propiedades del producto final. La técnica de VR se presenta como una alternativa con múltiples ventajas, entre ellas la preservación de compuestos bioactivos, logrando una alta retención de vitaminas y antioxidantes, así como una mejora en la calidad sensorial al conservar su color, sabor y aroma, manteniendo sus características organolépticas de manera óptima (Waghmare, 2021).

Por esta razón, el aprovechamiento de estos subproductos mediante tecnologías como el secado por ventana de refractancia (VR) no solo permite preservar compuestos bioactivos y obtener productos con propiedades nutricionales y funcionales de interés, sino que también

contribuye a la valorización de residuos agroindustriales y a la disminución del impacto ambiental asociado a su disposición final. Además, esta estrategia favorece la implementación de modelos de economía circular al promover el uso eficiente e integral de las materias primas. Asimismo, representa una oportunidad para el desarrollo de snacks con alto valor agregado y potencial comercial, incrementando la competitividad de la industria alimentaria mediante la transformación de subproductos que tradicionalmente son considerados desechos (Hasan et al., 2024).

8. OBJETIVOS

8.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura de secado y la proporción de puré de mango y guayaba en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack con adición de cáscara de mango.

8.2 Objetivos específicos

- Establecer la influencia de la proporción de pulpa de mango y guayaba en la cinética de secado de un snack con adición de cáscara de mango.
- Determinar el impacto de la temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de un snack a base de cáscara y puré de mango y guayaba.

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 Materia prima

9.1.1 Mango y cáscara

Se utilizaron frutos de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Tommy Atkins, adquiridos en un mercado local del municipio de Tuluá. Los frutos fueron seleccionados en grado de madurez 3, de acuerdo con los criterios establecidos en la NTC 5210 (Figura 3), debido a que en esta etapa presentan un estado fisiológico intermedio, caracterizado por una firmeza adecuada que facilita su manipulación y procesamiento. Además, este grado de madurez garantiza un equilibrio entre las características fisicoquímicas y sensoriales del fruto, favoreciendo la obtención de materias primas con propiedades homogéneas para el desarrollo del estudio. Los cuales no presentaron daños mecánicos, químicos o microbiológicos visibles. Los mangos se lavaron con agua potable y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm durante 2 min (GTC 315, 2020). Después de este proceso se realizó un pelado mecánico para separar la pulpa de la cáscara.



Figura 3. Grado de madurez del mango (NTC 5210)

9.1.2 Guayaba

Se emplearon guayabas de la variedad pera (Figura 4), las cuales fueron adquiridas en un mercado local del municipio de Tuluá, fueron seleccionadas aquellas que no presentaron ningún tipo de daño mecánico, químico o microbiológico visible. Adicionalmente, se seleccionaron de acuerdo con su contenido de sólidos solubles en pulpa con un valor de 7,5 °Brix conforme a lo establecido en la Resolución 3929 de 2013. Las guayabas fueron lavadas con agua potable y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm durante 2 min (GTC 315, 2020), posteriormente se despulparon.



Figura 4. Guayaba

Fuente: Melo Torres et al. (2024)

9.1.3 Preparación de mezcla

La mezcla se formuló utilizando tres proporciones diferentes en peso. La cáscara de mango se mantuvo constante, representando el 15 % de la formulación total, mientras que el 85 % restante correspondió a la combinación de puré de mango y puré de guayaba en proporciones de 25M:75G, 50M:50G y 75M:25G, respectivamente (Tabla 4).

Los purés de mango y guayaba se obtuvieron mediante procesamiento en una licuadora comercial (Waring, USA) durante 1 minuto a 18 000 rpm. A partir de estos purés se tomaron las muestras control para los análisis correspondientes. Por su parte, la cáscara de mango se obtuvo mediante pelado manual de los frutos y posterior corte utilizando un molde para garantizar la uniformidad del tamaño.

La preparación de las mezclas se realizó a temperatura ambiente (22-25 °C) y el proceso de secado se inició en un tiempo inferior a 10 minutos después de su elaboración. Esta medida se implementó con el fin de minimizar los procesos de oxidación, el pardeamiento enzimático y la pérdida de compuestos bioactivos, preservando así la calidad fisicoquímica y funcional de las muestras.

9.2 Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño experimental factorial de dos factores, considerando como variables independientes la temperatura de secado (70, 80 y 90 °C) y la proporción de la mezcla. En todas las formulaciones, la cáscara de mango se mantuvo constante en un 15 % del total, mientras que el 85 % restante correspondió a combinaciones de puré de mango y puré de guayaba en proporciones de 25M:75G, 50M:50G y 75M:25G (Tabla 4). Adicionalmente, se evaluaron como tratamientos control muestras elaboradas con 100 % puré de mango, 100 % puré de guayaba y 100 % cáscara de mango. En total, se obtuvieron 18 tratamientos, cada uno realizado por duplicado, para un total de 36 unidades experimentales.

Los niveles de temperatura de secado fueron seleccionados con base en antecedentes reportados en la literatura, los cuales indican que dichos rangos permiten un proceso de secado eficiente y una adecuada conservación de la calidad del producto. Por su parte, el porcentaje de cáscara de mango y las proporciones de puré de mango y guayaba utilizadas en las mezclas se definieron a partir de pruebas preliminares, considerando aspectos de estabilidad, manejabilidad y aceptación de las formulaciones.

Asimismo, se realizó la caracterización de cada una de las muestras control con el propósito de evaluar su influencia sobre el comportamiento de las mezclas y establecer comparaciones respecto a las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos obtenidos.

Tabla 4. Diseño experimental para secar una mezcla de cáscara y pulpa de mango y guayaba.

Tratamientos									Variables de respuesta
T1=70°C			T2=80°C			T3=90°C			• Contenido de humedad • Actividad de agua • Color • Textura • CFT • Capacidad antioxidante • Fibra
%M	%G	%CM	%M	%G	%CM	%M	%G	%CM	
25	75	0	25	75	0	25	75	0	
50	50	0	50	50	0	50	50	0	
75	25	0	75	25	0	75	25	0	
100	0	0	100	0	0	100	0	0	
0	100	0	0	100	0	0	100	0	
0	0	100	0	0	100	0	0	100	

9.3 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante pruebas ANOVA y post ANOVA empleando la prueba de Tukey a través del software estadístico Minitab versión 19 y Excel.

9.4 Proceso de secado

Se utilizó un baño serológico (Mettler, Alemania) con capacidad de 10 L de agua, para reproducir el secado por VR. Sobre el equipo se colocó una película Mylar de 51 x 29,5 cm con un área de 900 cm², sobre la cual se dispusieron las muestras de las mezclas de frutas, las cuales tenían un espesor de 3 mm y diámetro de 2,5 cm. El secado por VR se ajustó a cada una de las temperaturas de secado establecidas en la Tabla 4. Durante el proceso de secado, se tomaron muestras a intervalos regulares de tiempo con el fin de determinar la pérdida de humedad y construir las curvas de secado. Las muestras fueron retiradas cada 15 minutos durante las primeras 2 horas del proceso y, posteriormente, cada 30 minutos durante las siguientes 3 horas. Este procedimiento permitió monitorear la evolución del secado, evaluar la cinética de eliminación de agua y establecer el comportamiento de las muestras bajo las diferentes condiciones experimentales. En cada punto, se determinó el contenido de humedad (base seca) hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Las variables de respuesta de la Tabla 4, se midieron cuando las muestras alcanzaron un contenido de humedad de 10±0.5% (b.s), valor que se encuentra dentro del rango comercial de frutas deshidratadas. Los datos obtenidos se utilizaron para graficar la curva de secado con el fin de describir las cinéticas de secado a 70, 80 y 90°C.

9.4.1 Modelos predictivos de secado

Las curvas de secado se modelaron mediante la aplicación de siete modelos matemáticos de capa delgada: Newton, Page, Henderson y Pabis, Midilli-Kucuk, Logarítmico, Exponencial de dos términos y Aproximación de la difusión, cuyas ecuaciones se presentan en la Tabla 5 (Ecuaciones 1-7). La selección de estos modelos se basó en su amplia utilización y en el adecuado desempeño reportado para la descripción de la cinética de secado de frutas tropicales. Asimismo, su aplicación permitió evaluar la capacidad de ajuste de cada modelo a los datos experimentales obtenidos durante el proceso de secado.

La modelación se realizó de acuerdo con lo reportado por Albuquerque et al. (2024), Kumar et al. (2022) y Silva et al. (2024), quienes destacan la eficacia de estos modelos para representar el comportamiento de transferencia de humedad en materiales biológicos. A partir de los parámetros obtenidos, fue posible identificar el modelo que describió con mayor precisión la cinética de secado de las diferentes formulaciones.

Tabla 5. Modelos matemáticos cinética de secado

Nombre	Modelo	Ecuación	Referencia
Newton (Lewis)	$MR = \exp(-kt)$	1	Albuquerque et al. (2024), Kumar et al.
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	2	
Henderson Y Pabis	$MR = a * \exp(-kt^n)$	3	

Midilli Kuck	$MR = a * \exp(-kt^n) + bt$	4	(2022) y Silva et al. (2024)
Logarítmico	$MR = a * \exp(-kt) + c$	5	
Exponencial de dos términos	$MR = a * \exp(-kt) + (1a)\exp(-kat)$	6	
Aproximación de difusión	$MR = a * \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt)$	7	

Donde:

MR: razón de humedad

k: constante de secado

t: tiempo de secado (s)

n: parámetro del modelo

α : parámetro del modelo

b: parámetro del modelo

Para relacionar el proceso de secado y la construcción de las curvas de cinética correspondiente se estableció la relación del contenido de humedad en función del tiempo, esta razón de humedad se presenta en la ecuación 8.

$$MR = \frac{X_t - X_2}{X_0 - X_2} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

X_t : contenido de humedad en cada tiempo (g agua/ g materia seca)

X_2 : contenido de humedad en equilibrio (g agua/ g materia seca)

X_0 : contenido de humedad inicial (g agua/ g materia seca)

Dado que los valores de X_2 y su relación son bastante bajos, no se consideran, por lo que la razón de la humedad se simplifica adquiriendo la forma de la ecuación 9.

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad \text{Ec. 9}$$

9.4.2 Coeficiente de difusividad

Para calcular el coeficiente de difusividad se utilizó la ecuación de Fick correspondiente a la geometría de placas planas infinitas, como se presenta en la ecuación 10 (Kumar et al., 2022).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{\left[-\frac{(2n+1)\pi^2 Def^t}{4L^2}\right]} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

n: número de enteros en serie

L: espesor (m)

t: tiempo de secado (s)

La simplificación de la ecuación 10 para el ajuste de los datos experimentales se presenta como la ecuación 11.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} e^{\left[-\frac{\pi^2 Def^t}{4L^2}\right]} \quad \text{Ec. 11}$$

9.4.3 Análisis estadístico para la estimación de parámetros

Se realizó un análisis estadístico para evaluar los modelos cinéticos de secado. Donde se determinó el coeficiente de determinación (R^2) (Ecuación 12); la suma de cuadrados del error (SCE) (Ecuación 13); error cuadrático medio (RMSE) (Ecuación 14) y chi cuadrado (χ^2) (Ecuación 15)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp})^2} \quad \text{Ec. 12}$$

$$SCE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp} - MR_{pre})^2 \quad \text{Ec. 13}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp})^2}{N}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp})}{N - Z} \quad \text{Ec. 15}$$

9.4.4 Energía de activación

La estimación de la energía de activación se realizó mediante la relación de la difusividad efectiva y la temperatura de secado usando la ecuación de Arrhenius, tal como se presenta en la ecuación 16 (Silva et al., 2024).

$$Def = D_0 e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

D_0 : factor de Arrhenius (m^2/s)

E_a : energía de activación (J/mol)

R: constante de los gases (J/mol K)

T: temperatura (K)

Al aplicar una linealización utilizando logaritmos naturales a la ecuación 12, se obtuvo la siguiente igualdad, presentada en la ecuación 17.

$$\ln(Def) = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 17}$$

9.5 Determinación de propiedades fisicoquímicas

9.5.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó mediante el método del horno (Naeimi et al., 2025), donde la muestra se sometió a un secado en horno a 70 °C por 24 h, para lo cual se registró el peso inicial de la muestra y el peso final transcurrido este tiempo. Los experimentos se realizaron por triplicado para cada tratamiento. El cálculo del contenido de humedad se presenta en la ecuación 14.

$$CH = \frac{M_1 - M_2}{M} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

M_t : peso de la muestra húmeda (g)

M_g : peso de la muestra seca (g)

9.5.2 Actividad de agua

Para la medición de la actividad de agua (a_w) se siguió el procedimiento descrito por Villalobos et al., (2020) utilizando un medidor de agua (AQUALAB3, USA), calibrado previamente con soluciones salinas.

9.5.3 Color

La determinación de color fue realizada de acuerdo con la metodología empleada por Çetin & Sağlam (2023), mediante un colorímetro (3NH, NH300, USA) a partir de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$. Previamente el colorímetro se calibró mediante una placa blanca y negra antes de cada una de las mediciones. El cambio total del color (ΔE) fue determinado con base en el valor medio de diez lecturas tomadas en puntos aleatorios de cada muestra, utilizando la ecuación 21.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

L_0 : luminosidad de muestra fresca

a_0 : parámetro a para la muestra fresca

b_0 : parámetro b para la muestra fresca

L : luminosidad de muestra seca

a : parámetro a para la muestra seca

b : parámetro b para la muestra seca

9.5.4 Textura

El análisis de textura se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Çetin y Sağlam (2023), utilizando un texturómetro TX-700 (USA). Se aplicó un análisis de perfil de textura (TPA, Texture Profile Analysis) para evaluar las propiedades mecánicas del producto, específicamente los parámetros de fracturabilidad y dureza, los cuales son indicadores importantes de la calidad textural y de la aceptación sensorial de los snacks obtenidos. Se empleó una velocidad de desplazamiento previa a la prueba, velocidad de prueba y velocidad posterior a la prueba de 2, 2 y 10 mm s⁻¹, respectivamente. Cada una de las mediciones se realizó por triplicado.

9.6 Determinación de propiedades funcionales

9.6.1 Compuestos fenólicos totales (Folin-Ciocalteu)

La medición del CFT se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Zomorodi y Hedayat (2023). Se elaboró una curva patrón de ácido gálico (0,01 g/L), en una solución de metanol y agua en proporción 80:20, con el fin de cuantificar el contenido de fenoles totales de las

muestras. Para obtener el extracto, se mezcló 1 gramo de la muestra con 9 mL de la solución obtenida anteriormente y se dejó reaccionar a temperatura ambiente y en oscuridad durante 1 hora. Posteriormente, se añadieron 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, manteniéndola en oscuridad 10 minutos. Luego, se incorporaron 0,5 mL del extracto, 1 mL de una solución de carbonato de sodio al 10% y 8 mL de agua destilada, se agitó y almacenó en la oscuridad por 1 hora.

La lectura de absorbancia se realizó a 750 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Inc., USA) utilizando celdas de vidrio de 4,5 mL. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico (AGE) como se presenta en la ecuación 22.

$$CFT \left(\frac{mg \text{ AEG}}{100 \text{ ms}} \right) = \left(\frac{Fenoles \text{ totales}}{1000} \right) \times \left(\frac{mL \text{ Metanol:agua}}{g \text{ muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 22}$$

9.6.2 Capacidad antioxidante (ABTS)

Para la determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS [2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina]-6- ácido sulfónico] se llevó a cabo la metodología propuesta por Carranza-Téllez, et al., (2024) con algunas modificaciones. Para la preparación del reactivo, se generó una solución de ABTS a una concentración de 7 mM mediante la reacción con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) a 2.45 mM. manteniéndola en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas. Luego, se diluyó hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 a 1 ± 0.1 a 734 nm.

Posteriormente, se mezclaron 300 μ L del extracto de cada fruta con 3000 μ L de la solución diluida de ABTS, la absorbancia se midió inmediatamente a 734 nm utilizando un espectrofotómetro. Los resultados de inhibición se calcularon con la ecuación 23.

$$\%Inhibición = \left(1 - \frac{absorbancia \text{ de muestra}}{absorbancia \text{ del reactivo}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 23}$$

9.6.3 Capacidad antioxidante por DPPH

Para la medición de la capacidad antioxidante se utilizó el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) siguiendo la metodología descrita por Silva et al, (2024). Iniciando con la preparación de DPPH a una concentración de 0,1 mM en una solución de metanol agua 80:20, hasta obtener una absorbancia de $1,000 \pm 0,020$ a 520 nm, posteriormente se añadieron 2000 μ L

de esta solución a 500 µL del extracto de las muestras y se llevaron a incubar durante 30 min. La absorbancia se determinó con un espectrofotómetro, mediante la ecuación 24.

$$DPPH = \frac{C_a - S_a}{C_s} \times 100 \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

C_a : absorbancia de control

S_a : absorbancia de la muestra

9.6.4 Fibra

El contenido de fibra se determinó según el método oficial de análisis de la AOAC (1996), utilizando 2 g de muestra triturada, los cuales se transfirieron a un matraz con 250 ml de H₂SO₄ al 1,25 % llevándose a ebullición por 30 min, transcurrido este tiempo el residuo fue filtrado sobre tela dacrón y lavado con 100 ml de agua caliente y 25 ml de alcohol. Posteriormente, el residuo se llevó a un matraz con 250 ml de NaOH al 1,15% y se dejó en ebullición por 30 min, después de este tiempo se realizó el mismo procedimiento de filtrado y lavado. El residuo fue llevado a secado por estufa a 105 °C durante 2 h, por último, el residuo fue llevado a incineración en mufla a 550 °C durante 2 h. El contenido de fibra en cada muestra se determinó mediante la ecuación 25.

$$\%Fibra = \frac{F_1 - F_2}{F_3} \times 100 \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

F_1 : Peso de la muestra después de horno (g)

F_2 : Peso de la muestra después de incineración (g)

F_3 : Peso de la muestra (g)

10. RESULTADOS Y ANALISIS

10.1 Cinéticas de secado

En la Figura 5 se presentan las curvas de secado de los tratamientos control correspondientes a 100 % puré de mango, 100 % puré de guayaba y 100 % cáscara de mango, sometidos a temperaturas de 70, 80 y 90 °C. En todos los tratamientos se observó una disminución progresiva del contenido de humedad a medida que avanzó el proceso de secado, comportamiento característico de los materiales biológicos durante la eliminación de agua.

Asimismo, se evidenció que el incremento de la temperatura de secado redujo el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de humedad. Este comportamiento puede atribuirse al aumento de la velocidad de transferencia de calor hacia la muestra y de la difusión de la humedad desde el interior del material hacia la superficie, lo que acelera la evaporación del agua y favorece una mayor velocidad de secado (Kumar, 2022). En consecuencia, las muestras procesadas a 90 °C alcanzaron el equilibrio de humedad en un menor tiempo en comparación con aquellas secadas a 70 y 80 °C.

Las muestras de guayaba mostraron mayor velocidad de secado, alcanzando valores de humedad más bajos en menor tiempo en comparación con el mango y la cáscara de mango. Este comportamiento se atribuye a sus características estructurales, ya que la guayaba presenta una composición estructural más porosa disminuyendo la resistencia interna de humedad permitiendo la difusión molecular del vapor de agua (Santos et al, 2025), mientras que las muestras de mango presentaron un comportamiento intermedio, debido a su alto contenido de azúcares y pectina. En contraste, las muestras de cáscara de mango presentaron una menor velocidad de pérdida de humedad donde el alto contenido de fibra y pectina genera una estructura con mayor resistencia a la transferencia de agua (Shende y Datta, 2020).

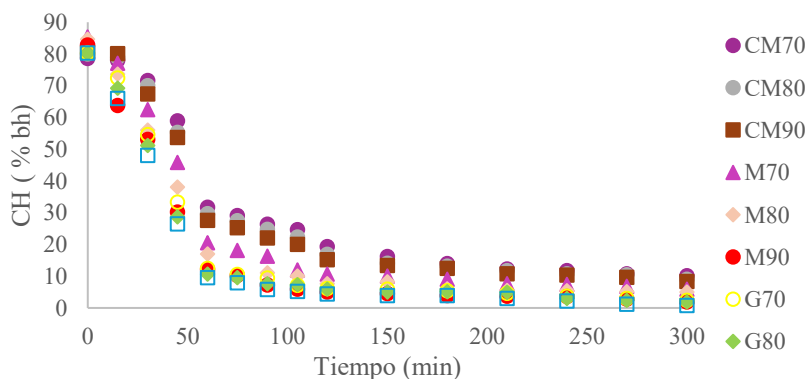


Figura 5. Cinéticas de secado para muestras de M, G Y CM secadas por VR

En la Figuras 6, 7 y 8 se presentan las cinéticas de secado para las mezclas evaluadas (25M-75G, 50M-50G y 75M-25G) donde se observa una disminución del contenido de humedad en todos los tratamientos durante el tiempo de secado; similar al comportamiento con los tratamientos control, descrito anteriormente.

Se evidencia que el incremento de la temperatura de 70 a 90°C aumenta significativamente la velocidad de secado, donde el tratamiento a 90°C presenta la mayor velocidad de pérdida de humedad en menor tiempo, seguido por 80°C y finalmente 70°C.

Este comportamiento puede atribuirse al aumento en la tasa de transferencia de calor hacia el material debido al aumento del gradiente de temperatura, lo que favorece la migración de humedad desde el interior hacia la superficie, facilitando su evaporación generando así una mayor velocidad de secado (Cosme-De Vera et al, 2021). Estos resultados son consistentes con lo reportado por Samrawit et al, (2025), quienes observaron que el aumento de la temperatura en el secado por VR de pulpa de mango incrementa la velocidad de secado y reduce el tiempo para alcanzar contenidos de humedad más bajos.

Con respecto a los tratamientos de mezclas, se observa que la mezcla 25M-75G presenta la mayor velocidad de secado debido al mayor contenido de guayaba, lo que facilita la migración de la humedad como se explicó previamente. La mezcla 50M-50G muestra una cinética intermedia y más uniforme por la proporción equivalente entre ambas materias primas. En contraste, la mezcla 75M-25G registra el secado más lento, asociado a la mayor proporción de mango, que ofrece mayor resistencia a la difusión de la humedad. Este comportamiento fue consistente para todas las temperaturas de secado trabajadas.

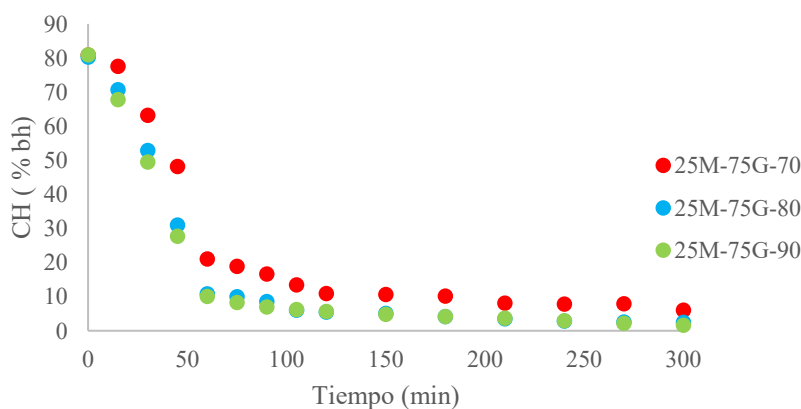


Figura 6. Cinéticas de secado para mezcla 25M-75G secadas a 70, 80 y 90 °C por VR

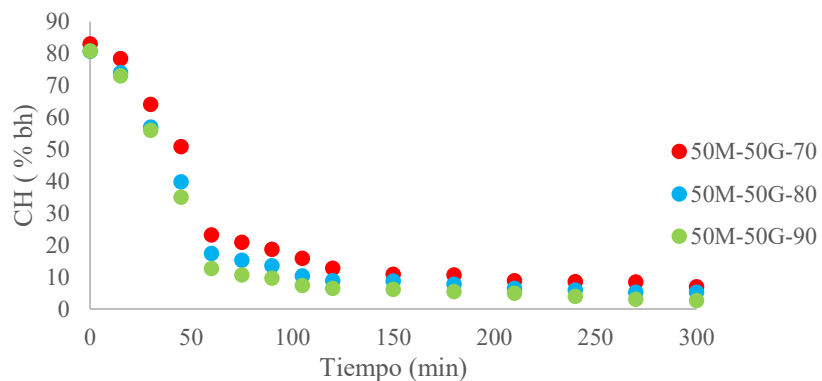


Figura 7. Cinéticas de secado para mezcla 50M-50G secadas a 70, 80 y 90 °C por VR

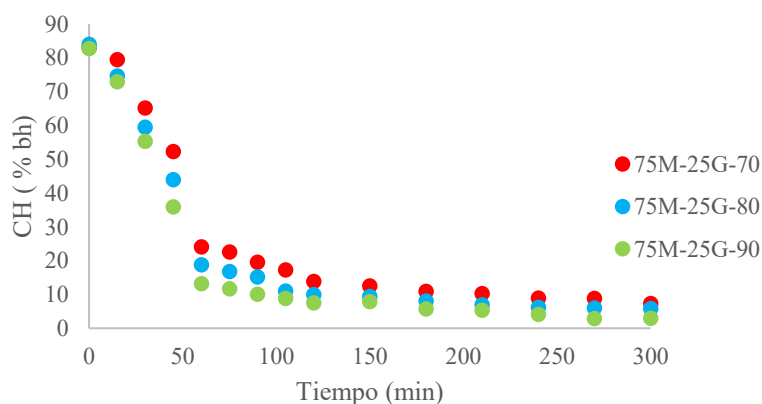


Figura 8. Cinéticas de secado para mezcla 75M-25G secadas a 70, 80 y 90 °C por VR

10.1.1 Modelado matemático

La Tabla 6 presenta los valores de los parámetros k y n obtenidos mediante el ajuste del modelo de Page para cada una de las cinéticas de secado evaluadas. Estos parámetros permiten describir la velocidad de secado y el comportamiento de la transferencia de humedad durante el proceso, proporcionando información relevante sobre la influencia de las condiciones experimentales en la cinética de deshidratación de las muestras.

Por su parte, los parámetros correspondientes a los demás modelos matemáticos analizados se presentan en el Anexo 1, donde se incluyen los resultados completos de los ajustes realizados para cada tratamiento. Esta información complementaria permitió comparar el desempeño de los distintos modelos y seleccionar aquel que representó con mayor precisión el comportamiento experimental de las curvas de secado.

El parámetro k está relacionado con la difusividad y la velocidad de secado, por lo tanto, tiene una tendencia a aumentar con la temperatura de secado (Silva et al, 2024). Este comportamiento se observa en los valores obtenidos para cada una de las muestras evaluadas, coincidiendo con lo encontrado por Santos et al., (2020) para el secado de guayaba y por Wassie et al., (2025) para el secado de mango. Por otra parte, el parámetro n representa la resistencia del material al secado y se ha reportado que no cambia significativamente con la temperatura y se mantiene relativamente constante (Rurush et al., 2022), sin embargo, los resultados obtenidos no muestran dicho comportamiento, y sus variaciones tampoco demuestran una tendencia clara de aumento o una disminución en sus valores. Resultados similares fueron obtenidos por Albuquerque et al., (2024) y Rout et al., (2025) para el secado de cáscara de mango donde los valores de n no presentaron un comportamiento relacionado con la temperatura. Tanto el parámetro k como el n presentaron diferencias significativas bajo cada condición estudiada, lo que indica influencia de la temperatura y la mezcla sobre la cinética de secado.

Tabla 6. Valores de k y n del modelo de Page para muestras secadas por VR.

Muestra	$K \text{ (min}^{-1}\text{)}$	N
M-90	$9.04 \times 10^{-02} \pm 9.05 \times 10^{-02} \text{ A}$	$0.89 \pm 1.50 \times 10^{-03} \text{ L}$
G-90	$4.06 \times 10^{-02} \pm 1.27 \times 10^{-04} \text{ B}$	$8.93 \times 10^{-03} \pm 1.41 \times 10^{-05} \text{ M}$
CM-90	$3.77 \times 10^{-04} \pm 1.42 \times 10^{-05} \text{ I}$	$2.15 \pm 1.41 \times 10^{-06} \text{ B}$
M-80	$3.31 \times 10^{-02} \pm 1.46 \times 10^{-04} \text{ C}$	$1.12 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ J}$
G-80	$2.05 \times 10^{-02} \pm 1.41 \times 10^{-04} \text{ E}$	$1.07 \pm 1.34 \times 10^{-02} \text{ J}$
CM-80	$3.54 \times 10^{-04} \pm 5.13 \times 10^{-07} \text{ I}$	$2.16 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ B}$
M-70	$2.19 \times 10^{-02} \pm 1.46 \times 10^{-04} \text{ E}$	$1.19 \pm 8.77 \times 10^{-03} \text{ I}$
G-70	$1.02 \times 10^{-03} \pm 1.27 \times 10^{-05} \text{ HI}$	$1.24 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ HI}$
CM-70	$1.05 \times 10^{-04} \pm 1.20 \times 10^{-06} \text{ I}$	$2.41 \pm 1.20 \times 10^{-02} \text{ A}$
25M-75G-90	$1.96 \times 10^{-02} \pm 1.46 \times 10^{-04} \text{ E}$	$1.33 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ G}$
50M-50G-90	$3.33 \times 10^{-02} \pm 7.78 \times 10^{-04} \text{ C}$	$1.00 \pm 7.08 \times 10^{-03} \text{ K}$
75M-25G-90	$2.73 \times 10^{-02} \pm 1.56 \times 10^{-04} \text{ D}$	$1.22 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ HI}$
25M-75G-80	$1.42 \times 10^{-02} \pm 1.41 \times 10^{-04} \text{ F}$	$1.42 \pm 1.31 \times 10^{-02} \text{ F}$
50M-50G-80	$3.23 \times 10^{-02} \pm 2.12 \times 10^{-04} \text{ C}$	$1.12 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ J}$
75M-25G-80	$2.61 \times 10^{-02} \pm 1.37 \times 10^{-04} \text{ D}$	$1.25 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ H}$
25M-75G-70	$2.10 \times 10^{-03} \pm 1.42 \times 10^{-05} \text{ HI}$	$1.76 \pm 7.07 \times 10^{-03} \text{ C}$
50M-50G-70	$5.34 \times 10^{-03} \pm 1.52 \times 10^{-05} \text{ G}$	$1.52 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ E}$
75M-25G-70	$3.14 \times 10^{-03} \pm 1.22 \times 10^{-05} \text{ GH}$	$1.65 \pm 1.41 \times 10^{-02} \text{ D}$

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Para determinar la eficacia de los modelos matemáticos utilizados, se evaluaron los parámetros estadísticos de R^2 y RSME donde un valor mayor del primero y valores menores del segundo indican el mejor ajuste del modelo con los datos experimentales (Kumar et al, 2022). De acuerdo con estas condiciones, el modelo de Page fue el que presentó el mejor ajuste con un R^2 de 1 y RSME promedio de 7.04×10^{-03} .

Las Figuras 9 y 10 presentan el ajuste del modelo de Page en las curvas de secado de los tratamientos control y de las mezclas de frutas respectivamente.

Este resultado coincide con lo reportado en otras investigaciones, Lin et al., (2023) y Kumar et al., (2022), encontraron que el modelo de Page presentó el mejor ajuste para describir el secado de mango por aire caliente, infrarrojo, liofilización y VR. También coincide con el de Santos et al., (2020) que reportaron resultados similares para el secado de guayaba por horno eléctrico y Rout et al., (2025) para el secado de cáscaras de mango. Lo anterior indica que el modelo de Page es adecuado para describir el comportamiento de secado para estos tipos de matrices alimentarias. Para el caso específico de las mezclas, el modelo se ajustó adecuadamente, ya que, no presentaron variaciones significativas para este parámetro.

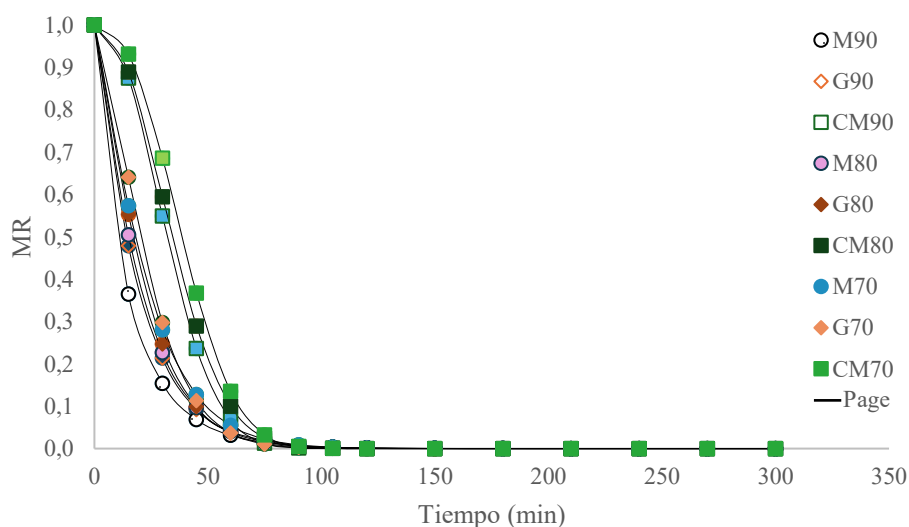


Figura 9. Curvas de secado ajustadas por el modelo de Page para tratamientos control secadas a 70, 80 y 90 °C por VR.

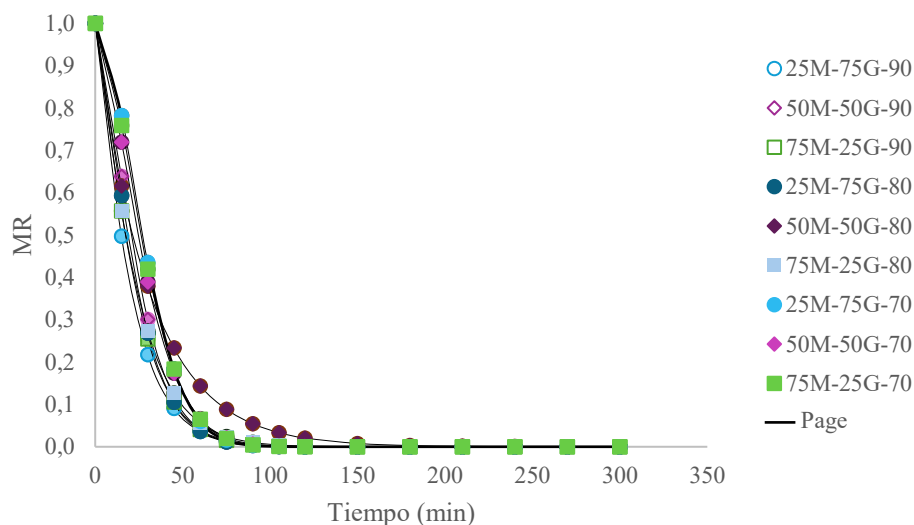


Figura 10. Curvas de secado ajustadas por el modelo de Page para mezclas secadas a 70, 80 y 90 °C por VR

10.1.2 Coeficiente de difusividad

En la Tabla 7 se presenta el efecto de la temperatura de secado, la proporción de la mezcla y la interacción entre ambos factores sobre la difusividad efectiva de las muestras secadas por ventana de refractancia (VR) bajo las diferentes condiciones experimentales. Los resultados del análisis estadístico mostraron que tanto la temperatura como la composición de la mezcla ejercieron un efecto significativo sobre este parámetro ($p < 0.05$). Asimismo, la interacción entre ambos factores también resultó significativa, lo que indica que el efecto de la temperatura sobre la difusividad dependió de la proporción de mango y guayaba presente en cada formulación.

Estos resultados evidencian que la transferencia interna de humedad durante el secado estuvo influenciada no solo por las condiciones del proceso, sino también por las características de la matriz alimentaria, las cuales pueden modificar la movilidad del agua y, por consiguiente, la velocidad de difusión de la humedad hacia la superficie del producto.

Tabla 7. Análisis de varianza difusividad.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	< 0.01

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

Los valores de difusividad para cada uno de los procesos de secado se presentan en la Tabla 8. Estos valores reflejan un incremento de la difusividad a medida que aumenta la temperatura de secado, este aumento se debe a que las temperaturas altas generan una mayor energía térmica en las moléculas de agua presentes en el alimento lo que conlleva a que la difusividad sea mayor, mejorando la velocidad de secado (Kumar et al., 2022). Las magnitudes de este parámetro se encontraron en el rango de 10^{-08} , típico de los productos agrícolas que va desde 10^{-11} a 10^{-08} (Aradwad et al., 2023). En concordancia con lo encontrado por Ampah et al., (2022a) y Mugodo & Workneh (2021) obtuvieron magnitudes de 10^{-07} y 10^{-08} para el secado de mango, respectivamente y Albuquerque et al., (2024) rangos de 10^{-10} para cáscara de mango, mientras que para la guayaba (Silva et al., 2024), encontraron magnitudes de 10^{-09} para secado convectivo.

En cuanto a las diferencias dentro de las muestras, la pulpa de mango presentó la mayor difusividad seguida de la guayaba y la cáscara de mango, estas diferencias están relacionadas con la composición de cada matriz, dado que el mango y la guayaba contienen un menor porcentaje de carbohidratos y fibra en comparación con la cáscara de mango (Lebaka et al., 2021; USDA, 2019).

Se ha demostrado que las temperaturas altas combinadas con un alto contenido de carbohidratos dificultan la salida del agua presente en el alimento durante el proceso de secado (Rurush et al., 2022). Para el caso de las mezclas solo fue claro el comportamiento por temperatura y no por composición, sin embargo, al ser un fenómeno que involucra la difusión de líquidos y vapor y las características estructurales del material, se generaron interacciones que no se relacionan con el efecto individual de los componentes.

Tabla 8. Difusividad de los tratamientos durante el proceso de secado por VR.

Muestra	Difusividad ($m^2.s^{-1}$)
M-90	$4.90 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-10}$ A
G-90	$3.91 \times 10^{-08} \pm 1.14 \times 10^{-10}$ B
CM-90	$1.94 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-11}$ HI
M-80	$3.72 \times 10^{-08} \pm 1.41 \times 10^{-10}$ BC
G-80	$3.52 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-11}$ C
CM-80	$1.88 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-10}$ HI
M-70	$1.08 \times 10^{-08} \pm 1.41 \times 10^{-09}$ I
G-70	$2.70 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-11}$ DEF
CM-70	$1.60 \times 10^{-08} \pm 1.41 \times 10^{-09}$ I
25M-75G-90	$3.75 \times 10^{-08} \pm 1.41 \times 10^{-09}$ BC
50M-50G-90	$3.00 \times 10^{-08} \pm 2.12 \times 10^{-10}$ D
75M-25G-90	$3.45 \times 10^{-08} \pm 2.33 \times 10^{-10}$ C
25M-75G-80	$2.49 \times 10^{-08} \pm 7.78 \times 10^{-11}$ EFG
50M-50G-80	$2.92 \times 10^{-08} \pm 1.56 \times 10^{-10}$ D

75M-25G-80	$2.79 \times 10^{-08} \pm 1.48 \times 10^{-10}$ DE
25M-75G-70	$2.32 \times 10^{-08} \pm 1.63 \times 10^{-09}$ G
50M-50G-70	$2.43 \times 10^{-08} \pm 2.33 \times 10^{-09}$ FG
75M-25G-70	$2.20 \times 10^{-08} \pm 7.07 \times 10^{-11}$ GH

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.1.3 Energía de activación

Los valores de energía de activación (E_a) obtenidos para las mezclas evaluadas se presentan en la Tabla 9. En las muestras analizadas, la relación entre la E_a y la difusividad efectiva no siguió completamente el comportamiento esperado, ya que algunos tratamientos con valores más elevados de energía de activación no presentaron las mayores difusividades. Este comportamiento puede considerarse atípico, dado que, en términos generales, una mayor energía de activación suele estar asociada con una mayor sensibilidad de la difusividad a los cambios de temperatura.

No obstante, las diferencias observadas entre los valores de E_a fueron relativamente pequeñas y todos los resultados se encontraron dentro del rango reportado para productos agrícolas, comprendido entre 12.7 y 110 kJ/mol (Santos et al., 2020). Esto sugiere que, a pesar de las variaciones detectadas, los valores obtenidos son consistentes con los descritos en la literatura para materiales biológicos sometidos a procesos de secado, lo que respalda la validez de los resultados experimentales.

Estos resultados muestran valores que son del mismo orden de magnitud que los reportados para diferentes productos y condiciones de secado. En mango secado por VR Gebeyehu et al., (2025) encontraron valores de 49.49 kJ/mol para pulpa con 3 mm de espesor, mientras que en el trabajo de Ampah et al., (2022b) obtuvieron valores de 25.40 para mango variedad Haden y 19.5 para Palmer. No obstante, presentó un espesor de 6 mm lo que indica que es un parámetro muy variable ya que al trabajarse bajo espesores menores el valor obtenido también disminuiría (Kumar et al., 2022). Para el caso de la guayaba, Silva et al. (2024) encontraron valores de 37.207 kJ/mol para cáscara de guayaba por secado convectivo y Santos et al., (2020) de 31.8 para rodajas de guayaba secadas en horno. Estos resultados sugieren que se pueden presentar diferencias por composición química y estructura celular del alimento, así como la interacción que se da entre sus diferentes componentes.

Tabla 9. Energía de activación para mezclas.

Muestra	Energía de Activación (kJ.mol ⁻¹)
25M-75G	24.70
50M-50G	10.80

10.2 Determinación de propiedades fisicoquímicas

10.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad para cada una de las muestras evaluadas presentó una disminución mayor a medida que se aumentaba la temperatura de secado, lo que condujo a una reducción de los tiempos de proceso y aumentó la tasa de eliminación de humedad debido a un gradiente mayor entre la temperatura del producto y el medio, presentando una alta tasa de eliminación al inicio del proceso de secado debido a una mayor disponibilidad de agua en el alimento (Albuquerque et al., 2024). Por lo tanto, entre más se aumenta el calor del material más rápida fue la difusión de humedad interna y externa, tal como se evidenció en el trabajo de Nguyen et al., (2020) para el secado de mago por VR.

10.2.2 Actividad de agua

En la Tabla 10 se presenta el análisis de varianza para evaluar el efecto de la temperatura, la mezcla y su interacción sobre la actividad de agua (a_w). Los valores de p fueron superiores a 0,05, lo que significa que ninguno de los factores, ni su interacción, presentaron un efecto significativo sobre la a_w .

Tabla 10. Análisis de varianza actividad de agua (a_w)

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	0.382
Mezcla	0.439
Temperatura * Mezcla	0.462

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

Los valores de actividad de agua (a_w) de las muestras secadas se presentan en la Tabla 11. Los resultados obtenidos oscilaron entre 0.34 y 0.49, valores considerablemente inferiores al límite de 0.65, por debajo del cual se restringe el crecimiento de la mayoría de los microorganismos responsables del deterioro de los alimentos. En consecuencia, estas condiciones favorecen la estabilidad microbiológica del producto, reduciendo el riesgo de proliferación de microorganismos patógenos y alterantes, lo que contribuye a prolongar su vida útil y mantener su calidad durante el almacenamiento (Minuye et al., 2021).

Asimismo, los bajos valores de actividad de agua obtenidos evidencian la efectividad del proceso de secado para disminuir la disponibilidad de agua libre en el producto. Esta reducción no solo mejora la estabilidad microbiológica, sino que también minimiza diversas reacciones de deterioro químico y enzimático, favoreciendo la conservación de las características físicoquímicas y funcionales de los snacks elaborados.

Resultados relativamente similares se han reportado en diferentes alimentos; Frabetti et al., (2021) reportaron valores de 0.24 para pulpa de guayaba secada por cinta colada con 3 mm de espesor. Así mismo, Sharma et al., (2025) y de Brito Araújo et al., (2021) reportaron rangos de a_w entre 0.33 y 0.49 para guayaba deshidratada. Para cáscara de mango se han reportado valores de 0.43 a 70°C y de 0.39 a 80 °C mediante secado convectivo. En el caso de las mezclas, los valores de a_w se encontraron dentro del mismo rango observado para las muestras individuales, este comportamiento es esperado de acuerdo con la composición de las matrices de las frutas.

Una característica favorable del secado por VR es la obtención de productos secos con bajos valores de a_w , en comparación con otras técnicas como el secado en horno, en el cual se han reportado valores de 0.62 (Shende y Datta., 2020).

Tabla 11. Resultados de a_w para muestras secadas por VR.

Muestra	a_w
M-90	0.36 ± 0.02^A
G-90	0.34 ± 0.00^A
CM-90	0.49 ± 0.02^A
M-80	0.37 ± 0.04^A
G-80	0.35 ± 0.00^A
CM-80	0.48 ± 0.05^A
M-70	0.37 ± 0.03^A
G-70	0.39 ± 0.06^A
CM-70	0.51 ± 0.01^A
25M-75G-90	0.37 ± 0.05^A
50M-50G-90	0.38 ± 0.05^A
75M-25G-90	0.38 ± 0.04^A
25M-75G-80	0.41 ± 0.05^A
50M-50G-80	0.37 ± 0.37^A
75M-25G-80	0.40 ± 0.03^A
25M-75G-70	0.37 ± 0.06^A
50M-50G-70	0.38 ± 0.01^A
75M-25G-70	0.37 ± 0.06^A

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.2.3 Color

La Tabla 12 presenta los resultados de análisis de varianza para el cambio total de color (ΔE), donde se evaluó el efecto de la temperatura, mezcla y su interacción sobre ΔE , presentando diferencias significativas en los tres casos.

Tabla 12. Análisis de varianza ΔE para muestras secadas por VR.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	< .001

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

El color es uno de los parámetros más importantes para el consumidor a la hora de elegir un producto, por lo cual se busca que durante el proceso de secado los cambios en este sean mínimos (Nguyen et al., 2023). Los valores para el ΔE de cada una de las muestras evaluadas se presentan en la Tabla 13. Se observó un incremento de ΔE con el aumento de la temperatura de secado, este comportamiento puede asociarse con la degradación y oxidación de compuestos sensibles al calor, así como al pardeamiento enzimático y no enzimático durante el proceso (Mugodo & Workneh, 2021). Este mismo resultado se presentó en el secado de pulpa y cáscara de mango, donde se evidenció disminución del contenido de la clorofila y de los carotenoides debido al efecto térmico que generó un mayor ΔE (de Brito Araujo et al., 2021). De similar manera, Taghinezhad et al., (2021) encontraron que, al incrementar la temperatura de secado el ΔE aumentó, atribuido principalmente a la descomposición de los pigmentos y decoloración del producto.

En cuanto a la magnitud en el ΔE , Dereje & Abera (2020) reportaron un valor de ΔE de 7.75 para secado de mango por lecho fluidizado, mientras que Zotarelli et al., (2022) obtuvieron valores cercanos a 9 para secado por cinta fundida. Estos valores son cercanos a los obtenidos en este trabajo en el puré de mango, teniendo en cuenta que el VR genera un menor ΔE con respecto a otros tipos de secado (Kaveh et al., 2025). Para la guayaba, Leiton-Ramirez, Ayala y Ochoa (2020) reportaron valores de 8.46 para secado por VR y Sharma et al. (2025) de 32.38 y 33.12, valores que difieren con respecto a los obtenidos. Estas diferencias con respecto a los resultados obtenidos pueden estar asociados con el color inicial de la fruta, o las condiciones de procesamiento, así como reacciones de oxidación del ácido ascórbico para el caso de la guayaba (Ferrari et al., 2021).

En el caso de las mezclas, se observó que aquellas con mayor contenido de mango presentaron menores valores de ΔE , mientras que las de mayor proporción de guayaba, presentaron

un mayor ΔE . Este comportamiento coincide con lo obtenido para las muestras individuales, donde la guayaba presentó los mayores valores de ΔE . Estos resultados indican que la interacción de los compuestos de cada matriz presentan diferencias en su estabilidad del color y en la susceptibilidad de sus compuestos frente al oxígeno durante el secado (Carranza-Téllez et al., 2024), como sucede con el secado por VR, donde una superficie significativa está expuesta al aire y la otra entra en contacto directo con la superficie caliente, estas condiciones pueden favorecer las reacciones de oxidación en la pulpa durante el secado (Zotarelli et al., 2020).

Tabla 13. Valores ΔE para muestras secadas por VR.

Muestra	ΔE
M-90	6.96 ± 0.27^F
G-90	21.43 ± 0.49^A
CM-90	13.59 ± 0.08^{BC}
M-80	6.08 ± 0.15^G
G-80	14.56 ± 0.19^B
CM-80	11.95 ± 0.03^D
M-70	5.31 ± 0.11^G
G-70	11.46 ± 0.18^D
CM-70	7.96 ± 0.12^E
25M-75G-90	14.25 ± 0.11^{BC}
50M-50G-90	13.88 ± 0.16^{BC}
75M-25G-90	13.32 ± 0.30^C
25M-75G-80	13.46 ± 0.45^{BC}
50M-50G-80	11.96 ± 0.04^D
75M-25G-80	11.36 ± 0.14^D
25M-75G-70	8.45 ± 0.25^E
50M-50G-70	8.45 ± 0.35^E
75M-25G-70	7.57 ± 0.03^{EF}

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.2.4 Textura

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza para la fuerza de fractura. Se evidencia que tanto la temperatura, la mezcla y la interacción entre ambos tienen un efecto significativo sobre la fuerza de fractura (N).

Tabla 14. Análisis de varianza fuerza de fractura para muestras secadas por VR.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	< 0.01

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

La Tabla 15 presenta los valores de fuerza de fractura (N).

Tabla 15. Valores de fuerza de fractura (N) para muestras secadas por VR.

Muestra	Fuerza de fractura (N)
M-90	3.87 ± 0.42^H
G-90	5.57 ± 0.20^{FG}
CM-90	11.64 ± 0.11^A
M-80	2.25 ± 0.62^I
G-80	5.32 ± 0.57^G
CM-80	10.27 ± 0.17^B
M-70	1.21 ± 0.08^I
G-70	5.31 ± 0.30^G
CM-70	8.25 ± 0.38^C
25M-75G-90	7.15 ± 0.69^{CD}
50M-50G-90	6.86 ± 0.80^{DEF}
75M-25G-90	6.50 ± 0.47^{DEFG}
25M-75G-80	7.09 ± 0.14^{CD}
50M-50G-80	6.58 ± 0.38^{DEFG}
75M-25G-80	6.07 ± 0.63^{DEFG}
25M-75G-70	6.97 ± 0.03^{CDE}
50M-50G-70	6.28 ± 0.52^{DEFG}
75M-25G-70	5.68 ± 0.16^{EFG}

Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

El análisis de la fuerza de fractura indica que, en cuanto a las muestras control o muestras individuales, la cáscara de mango presentó los valores más altos en todas las temperaturas evaluadas. Por el contrario, el mango registró los valores más bajos, mientras que la guayaba se situó en rangos intermedios con menor variación entre temperaturas. Esta tendencia se ve reflejada en las mezclas, ya que la formulación 25M-75G con mayor proporción de guayaba, presenta valores superiores de fuerza de fractura, mientras que el aumento de la proporción de mango tiende a disminuir en este parámetro, la mezcla 50M-50G, al presentar proporciones iguales se ubica en un rango intermedio.

Este comportamiento puede explicarse por las características estructurales y de composición de las matrices evaluadas. En el caso del puré de mango, por su alto contenido de azúcares se puede obtener una matriz más flexible y menos rígida, mientras que la cáscara de mango por su mayor contenido de fibra y componentes estructurales de la pared celular puede formar una matriz más compacta y resistente, incrementando la rigidez y la fuerza de fractura. En cambio, la guayaba presentó valores intermedios, posiblemente asociados con una mayor proporción de material estructural en comparación con el mango, pero menor que la cáscara de mango, lo que explica su resistencia mecánica intermedia (Santos et al, 2025; Shende y Datta, 2020).

Adicionalmente, se observa un incremento en la fuerza de fractura a medida que aumenta la temperatura. Este efecto puede ser atribuido a que las temperaturas más altas pueden romper las membranas celulares, facilitando la liberación del agua, y en consecuencia favoreciendo la formación de estructuras más rígidas (Kumar et al., 2022).

10.3 Determinación de propiedades funcionales

10.3.1 Compuestos fenólicos totales

La Tabla 16 presenta el análisis de varianza para el CFT de cada muestra evaluada, donde se determinó si la temperatura, la mezcla y su interacción son significativas sobre dicho parámetro, encontrando que se presentaba significancia en cada caso.

Tabla 16. Análisis de varianza para CFT de muestras secadas por VR.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	< .001
Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.	

En la Tabla 17 se observan los resultados del CFT, donde la cáscara de mango presenta los valores más altos, seguido por la guayaba y finalmente el mango. Este comportamiento es consistente con la literatura científica, con lo reportado por Pacheco et al., (2024), Izli et al., (2017) y Viáfara et al., (2024).

En las mezclas evaluadas se mantuvo la misma tendencia observada en las muestras control, donde la formulación 25M–75G presentó los mayores contenidos de compuestos fenólicos totales, lo que puede atribuirse a la mayor proporción de guayaba en la mezcla. Por el contrario, la

formulación 75M–25G registró los valores más bajos, mientras que la mezcla 50M–50G mostró un comportamiento intermedio.

Asimismo, se evidenció un incremento del contenido de compuestos fenólicos totales a medida que aumentó la temperatura de secado. De acuerdo con Francine et al. (2017), el aumento de la temperatura induce una serie de cambios físicos y químicos en la matriz vegetal, favoreciendo la liberación de compuestos fenólicos asociados a la pared celular o presentes en forma ligada. Como consecuencia, se incrementa la concentración de compuestos fenólicos libres detectables en las muestras.

En términos generales, los valores obtenidos para las mezclas fueron intermedios, ya que superaron los contenidos fenólicos registrados en las muestras elaboradas únicamente con pulpa de mango o guayaba. Sin embargo, no alcanzaron los niveles observados en la cáscara de mango, la cual presentó la mayor concentración de compuestos fenólicos totales, evidenciando su importancia como fuente de compuestos bioactivos y su potencial para enriquecer nutricionalmente los productos desarrollados.

Tabla 17. Valores de CFT para muestras secadas por VR.

Muestra	CFT
M	248.07 ± 1.10 ^W
G	399.63 ± 0.47 ^S
CM	3490.57 ± 0.38 ^D
25-75	695.23 ± 0.32 ^I
50-50	550.90 ± 0.78 ^P
75-25	400.93 ± 0.81 ^S
M-90	321 ± 0.01 ^T
G-90	627 ± 0.94 ^K
CM-90	4441 ± 1.05 ^A
M-80	288 ± 1.82 ^U
G-80	558 ± 1.84 ^O
CM-80	4130 ± 0.95 ^B
M-70	264 ± 0.94 ^V
G-70	487 ± 1.02 ^R
CM-70	3841 ± 2.18 ^C
25M-75G-90	1029 ± 1.09 ^E
50M-50G-90	787 ± 0.10 ^G
75M-25G-90	650 ± 1.05 ^J
25M-75G-80	804 ± 2.77 ^F
50M-50G-80	616 ± 0.93 ^L
75M-25G-80	578 ± 0.94 ^N

25M-75G-70	755 ± 0.93 ^H
50M-50G-70	600 ± 0.44 ^M
75M-25G-70	498 ± 1.05 ^Q

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.3.2 Capacidad antioxidante (ABTS)

La Tabla 18 presenta el resultado del análisis de varianza de la capacidad antioxidante ABTS en los distintos tratamientos, donde la temperatura, la mezcla y su interacción tuvieron un efecto significativo sobre este parámetro.

Tabla 18. Análisis de varianza para capacidad antioxidante ABTS.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	0.002

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

Los antioxidantes presentan diversos beneficios para la salud atribuidos a su capacidad para eliminar radicales libres, lo que previene la oxidación en el cuerpo humano y en los alimentos, de allí la importancia de su conservación cuando un alimento se somete a diferentes tratamientos térmicos (Priyadarshini et al., 2023). La capacidad antioxidante obtenida mediante el método ABTS para cada una de las muestras se presenta en la Tabla 19, donde se evidencia que una temperatura más alta genera una mayor capacidad antioxidante, además el proceso de secado aumentó el porcentaje de inhibición con respecto a las muestras frescas.

Los valores para la inhibición variaron desde 93.90% hasta 98.50% para las muestras secadas por VR, donde el mango presentó el valor más bajo y la cáscara el más alto coincidiendo con lo reportado en el trabajo de Lenucci et al., (2022) quienes explican que este comportamiento se atribuye a una mayor presencia de compuestos fenólicos en cáscaras. En el caso de las mezclas, estas también se vieron afectadas por composición evaluada, donde aquellas con un mayor contenido de mango presentaron un porcentaje de inhibición menor, caso contrario a lo que sucedió con las que contenían más guayaba.

De las temperaturas evaluadas, la temperatura de 90°C fue la que presentó los mejores resultados, lo que indica que las altas temperaturas tienen una mejor retención de compuestos antioxidantes en concordancia con lo reportado por Razola-Díaz et al., (2023), donde se explica

que las temperaturas bajas generan tiempos de secado más largos provocando disminución de la actividad antioxidante, además una mayor eliminación de la humedad aumenta la concentración de nutrientes.

Tabla 19. Valores de capacidad antioxidante ABTS para muestras secadas por VR.

Muestra	ABTS
M	92.91 ± 0.77 ^K
G	94.87 ± 0.21 ^{EFGH}
CM	95.67 ± 0.32 ^{DE}
25-75	93.53 ± 0.35 ^{IJK}
50-50	93.23 ± 0.25 ^{JK}
75-25	93.00 ± 0.20 ^K
M-90	94.93 ± 0.14 ^{EFGH}
G-90	98.17 ± 0.37 ^{AB}
CM-90	98.50 ± 0.43 ^A
M-80	94.74 ± 0.35 ^{EFGHI}
G-80	97.56 ± 0.53 ^{ABC}
CM-80	98.17 ± 0.42 ^{AB}
M-70	94.08 ± 0.37 ^{GHIJK}
G-70	95.70 ± 0.41 ^{DEF}
CM-70	97.18 ± 0.28 ^{BC}
25M-75G-90	97.39 ± 0.21 ^{ABC}
50M-50G-90	95.31 ± 0.35 ^{DEFG}
75M-25G-90	95.02 ± 0.29 ^{EFGH}
25M-75G-80	96.41 ± 0.35 ^{CD}
50M-50G-80	95.21 ± 0.28 ^{DEFG}
75M-25G-80	94.79 ± 0.56 ^{EFGHI}
25M-75G-70	94.69 ± 0.35 ^{EFGHI}
50M-50G-70	94.32 ± 0.22 ^{FGHIJ}
75M-25G-70	93.90 ± 0.22 ^{HIJK}

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.3.3 Capacidad antioxidante DPPH

El análisis de varianza para la capacidad antioxidante DPPH se presenta en la Tabla 20, donde se evidencia que la temperatura de secado, el tipo de mezcla y su interacción tuvieron un efecto significativo sobre la inhibición de los radicales libres.

Tabla 20. Análisis de varianza para capacidad antioxidante DPPH.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	< .001

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

La Tabla 21 presenta los porcentajes de inhibición del radical DPPH, donde se observa que tanto el proceso de secado como el incremento de la temperatura favorecieron un aumento de la capacidad antioxidante en todas las muestras evaluadas. Este comportamiento sugiere que las condiciones de secado empleadas promovieron una mayor disponibilidad de compuestos con actividad antioxidante, posiblemente debido a la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz vegetal o a la formación de compuestos con capacidad reductora durante el tratamiento térmico.

Asimismo, se evidenció una tendencia creciente en los porcentajes de inhibición a medida que aumentó la temperatura de secado, indicando que las muestras procesadas a temperaturas más altas presentaron una mayor capacidad para neutralizar el radical DPPH. Estos resultados confirman la influencia significativa de las condiciones de secado sobre las propiedades antioxidantes del producto y demuestran el potencial del secado por ventana de refractancia para preservar e incluso favorecer la disponibilidad de compuestos bioactivos con actividad antioxidante. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Nyangena et al. (2019), quienes observaron que la capacidad antioxidante de las rodajas de mango aumentó después del secado al horno a 50 y 65 °C en comparación con las muestras fresca.

De las muestras evaluadas la cáscara de mango fue la que mayor inhibición presentó, con un valor de 89.8%, valor superior al reportado por Borrás-Enríquez et al., (2021) del 87%; estas variaciones pueden ser atribuidas a las características genéticas, ambientales y en la etapa de madurez del fruto. De manera general, se ha demostrado que la cáscara de mango presenta mayor actividad antioxidante que la pulpa debido a que presenta un mayor contenido de antioxidantes (Suvo et al., 2025).

También se ha demostrado que mediante la técnica de secado por VR se han alcanzado valores de inhibición de 95.12%, superiores a los obtenidos por secado en horno, donde se reportaron valores de 80.4 a 85.31% (Bamogo et al., 2026). Lo que indica que el secado por VR conserva mejor los compuestos antioxidantes relacionado a un menor tiempo de exposición del alimento a las altas temperaturas durante el secado y las reacciones que se pueden generar con la exposición al oxígeno. También se evidenciaron mayores valores de inhibición por ABTS que por

DPPH para cada una de las muestras, debido a que el radical ABTS es más sensible a reaccionar con una mayor variedad de compuestos presentes en el alimento (Rakariyatham et al., 2025).

Con respecto a las mezclas evaluadas, las que presentaron mayores valores fueron aquellas con un mayor contenido de guayaba, correspondiente a 25M-75G en cada una de las temperaturas, siendo 90 °C la de mayor capacidad antioxidante.

Tabla 21. Valores de capacidad antioxidante DPPH para muestras secadas por VR.

Muestra	DPPH
M	80.5 ± 0.71 ^L
G	82.05 ± 0.35 ^{KL}
CM	87.45 ± 0.49 ^{ABCDEFG}
25-75	85.85 ± 0.21 ^{FGHIJ}
50-50	84.20 ± 0.14 ^{HIJK}
75-25	82.55 ± 0.35 ^{JKL}
M-90	87.75 ± 0.06 ^{ABCDEF}
G-90	89.80 ± 0.13 ^{AB}
CM-90	89.98 ± 0.13 ^A
M-80	84.23 ± 0.19 ^{HIJK}
G-80	89.31 ± 0.26 ^{ABC}
CM-80	89.49 ± 0.13 ^{ABC}
M-70	82.19 ± 0.20 ^{JKL}
G-70	83.14 ± 0.07 ^{IJKL}
CM-70	88.54 ± 1.35 ^{ABCDE}
25M-75G-90	89.57 ± 0.06 ^{ABC}
50M-50G-90	89.21 ± 0.06 ^{ABCD}
75M-25G-90	88.62 ± 0.64 ^{ABCDEFG}
25M-75G-80	87.80 ± 0.06 ^{ABCDEF}
50M-50G-80	87.75 ± 0.65 ^{CDEFGH}
75M-25G-80	85.74 ± 0.13 ^{BCDEFGH}
25M-75G-70	86.39 ± 0.20 ^{DEFGH}
50M-50G-70	85.77 ± 0.14 ^{EFGHI}
75M-25G-70	84.57 ± 0.07 ^{GHIJK}

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10.3.4 Fibra

En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza para el contenido de fibra, en el cual se observa que la temperatura y la composición de la mezcla presentaron un efecto significativo, sin embargo, la interacción entre ambos factores no fue significativa.

Tabla 22. Análisis de varianza para el contenido de fibra en muestras secadas por VR.

Análisis de Varianza	
Factor	Valor p
Temperatura	< .001
Mezcla	< .001
Temperatura * Mezcla	0.649

Si $p < 0.05$, existe una diferencia significativa entre los factores o la interacción de estos.

La Tabla 23 presenta los resultados obtenidos para el contenido de fibra de las muestras evaluadas. Los valores oscilaron entre 3.78 ± 0.09 y 45.47 ± 0.50 g/100 g, evidenciando diferencias significativas entre los tratamientos. Se observó que las mezclas con una mayor proporción de guayaba presentaron contenidos de fibra significativamente superiores a los registrados en las formulaciones con una mayor proporción de mango ($p < 0.05$).

Este comportamiento puede atribuirse a la composición propia de la guayaba, la cual se caracteriza por un mayor contenido de fibra dietaria en comparación con el mango. En consecuencia, el incremento de la proporción de guayaba en las mezclas favoreció el aumento del contenido total de fibra en los productos obtenidos. Estos resultados destacan el potencial de la guayaba como ingrediente para el desarrollo de snacks con mejores características nutricionales y un mayor aporte de fibra dietaria.

Tabla 23. Valores de fibra para muestras secadas por VR.

Muestra	Fibra
M-90	4.18 ± 0.09^H
G-90	45.47 ± 0.50^A
CM-90	41.37 ± 0.12^{ABC}
M-80	3.97 ± 1.01^H
G-80	43.66 ± 3.11^{AB}
CM-80	37.97 ± 1.63^{BC}
M-70	3.78 ± 0.09^H
G-70	41.37 ± 5.65^{ABC}
CM-70	35.48 ± 0.46^C
25M-75G-90	27.80 ± 0.12^D
50M-50G-90	25.01 ± 0.46^{DE}
75M-25G-90	19.44 ± 0.74^{EFG}

25M-75G-80	25.05 ± 0.53 ^{DE}
50M-50G-80	23.25 ± 0.18 ^{DE}
75M-25G-80	16.15 ± 0.20 ^{FG}
25M-75G-70	22.30 ± 0.66 ^{DEF}
50M-50G-70	21.24 ± 0.34 ^{DEFG}
75M-25G-70	15.31 ± 0.36 ^G

Los resultados se presentan como media ± desviación estándar. Los superíndices diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La guayaba presentó los valores más altos de fibra en todas las temperaturas con valores entre 41,37 % y 45,47 %, seguida de la cáscara de mango entre 35,48 % y 41,37 % y finalmente el mango mostró los valores más bajos con 3,78 % a 4,18 %. Este comportamiento se atribuye a lo explicado anteriormente en relación con las características estructurales y su composición, debido a que la guayaba y la cáscara de mango poseen una mayor proporción de componentes estructurales de la pared celular, tales como celulosa, hemicelulosa y lignina, responsables del contenido de fibra (Suresh et al, 2024). Por su parte, las mezclas presentan un comportamiento intermedio, con valores que corresponde a la mayor proporción de materia prima donde a mayor contenido de guayaba se incrementa el contenido de fibra, mientras que al aumentar la proporción de mango disminuye.

En cuanto al efecto de la temperatura, se observa que el tratamiento a 90 °C favorece mayores contenidos de fibra en comparación con 70 y 80 °C. Este incremento podría atribuirse a la gelatinización y retrogradación del almidón como resultado del tratamiento térmico, lo que incrementa el peso a la fibra (Bikila et al., 2020).

Finalmente, los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado en la literatura científica, donde se indican contenidos de fibra de 32,86–39,6 % para cáscara de mango, 43,94–46,29 % para guayaba liofilizada y 3,72–4,86 % para mango (Marcillo et al., 2021; Jakha et al., 2024; Yousaf et al., 2024; Kasse y Asrat, 2025).

11. CONCLUSIONES

El secado por ventana de refractancia permitió obtener muestras con un bajo contenido de humedad, evidenciando la eficacia de esta tecnología para la deshidratación de matrices a base de frutas. Asimismo, el aumento de la temperatura de secado de 70 a 90 °C incrementó la velocidad de eliminación de agua y redujo significativamente el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio de humedad. Entre las condiciones evaluadas, la temperatura de 90 °C presentó el mejor desempeño, al favorecer una mayor eficiencia del proceso y una reducción del tiempo de secado, contribuyendo a la obtención de productos estables en menor tiempo.

El modelo de Page presentó el mejor ajuste para describir las cinéticas de secado en todos los tratamientos evaluados, con valores de R^2 cercanos a 1 y bajos valores de RMSE, lo que permite predecir de manera adecuada la relación entre el tiempo y la pérdida de humedad durante el proceso.

Las muestras evaluadas presentaron valores de actividad de agua (a_w) dentro de un rango considerado seguro, lo que indica una disminución significativa de la disponibilidad de agua libre en el producto. Esta condición favorece la estabilidad durante el almacenamiento, ya que limita el crecimiento y desarrollo de microorganismos alterantes y patógenos. Además, los bajos valores de a_w contribuyen a reducir la velocidad de diversas reacciones de deterioro, tanto químicas como enzimáticas, asociadas a la presencia de agua, favoreciendo así la conservación de la calidad e inocuidad del producto a lo largo del tiempo.

Se evidenció que aumentar la temperatura de secado se incrementó el cambio total de color (ΔE) y la fuerza de fractura en los tratamientos. Las formulaciones con mayor proporción de guayaba presentaron mayor resistencia mecánica y mayor ΔE , mientras que los tratamientos con mayor contenido de mango mostraron menor ΔE y menor fuerza de fractura debido posiblemente a su contenido de azúcares.

Las propiedades funcionales y el contenido de fibra fueron afectadas significativamente por la proporción de mezcla y la temperatura de secado. Las formulaciones con mayor contenido de guayaba, especialmente 25M–75G, presentaron los mayores valores de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y fibra; además, la temperatura de 90 °C favoreció los mayores valores funcionales y un leve incremento en el contenido de fibra.

Entre las mezclas evaluadas, la formulación 25M-75G secada a 90 °C presentó el mejor desempeño global, al combinar una mayor velocidad de secado con mayores contenidos de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y fibra en comparación con las demás formulaciones. Estos resultados evidencian que la interacción entre la proporción de mezcla y la temperatura de secado influyó significativamente en la calidad funcional del producto obtenido. No obstante, aunque esta formulación presentó las mejores características entre las muestras

evaluadas, no supero los valores registrados en las muestras individuales de cascara de mango y guayaba.

12. REFERENCIAS

- Abdelmontaleb, H. S., Abdelmeged, D. A., Hamdy, S. M., Hammam, M. G., & Ebid, W. M. A. (2025). Exploring the potential of using pomegranate and mango peel powders as natural food additives targeting safety of white soft cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111158>
- Acosta Castaño, M., Chávez Salazar, A., & Castellanos Galeano, F. J. (2023). Optimización del proceso de fritura por inmersión en la obtención de snacks de manzana “Malus Domestica”. *Tecnura*, 27, 31–48. <https://doi.org/10.14483/22487638.18879>
- Agronet (2022). Reporte: Área, rendimiento y producción nacional por cultivo. Recuperado por búsqueda de Estadísticas Agropecuarias, Agrícolas, Producto guayaba, de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Agronet (2022). Reporte: Área, rendimiento y producción nacional por cultivo. Recuperado por búsqueda de Estadísticas Agropecuarias, Agrícolas, Producto mango, de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Albuquerque, J. C., de Figueirêdo, R. M. F., de Melo Queiroz, A. J., dos Santos, F. S., Santos, N. C., de Oliveira Carvalho, R., Gregório, M. G., Moura, H. V., de Macedo Albuquerque Junior, N., Amadeu, L. T. S., & dos Santos Costa, S. (2024). Processing of Maranhão mango peels by convective drying and freeze-drying: kinetic study, functional and thermal properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(7), 6295–6309. <https://doi.org/10.1007/S11694-024-02648-X/FIGURES/3>
- Almoraie, N. M., Saqaan, R., Alharthi, R., Alamoudi, A., Badh, L., & Shatwan, I. M. (2021). Snacking patterns throughout the life span: potential implications on health. En *Nutrition Research* (Vol. 91, pp. 81–94). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.05.001>
- Alvarez-Rivera, G., Ballesteros-Vivas, D., Ibanez, E., Parada-Alfonso, F., & Cifuentes, A. (2020). Foodomics of Bioactive Compounds From Tropical Fruits By-Products. En *Comprehensive Foodomics* (pp. 672–688). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22882-5>
- Ampah, J., Dzisi, K. A., Addo, A., & Bart-Plange, A. (2022). Drying Kinetics and Chemical Properties of Mango. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 6243228. <https://doi.org/10.1155/2022/6243228>
- Angulo-López, J. E., Flores-Gallegos, A. C., Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, K. N., Martínez, G. A., & Aguilar, C. N. (2021). Guava (*Psidium guajava* L.) fruit and valorization of

- industrialization by-products. En *Processes* (Vol. 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr9061075>
- AOAC. 1996. Official methods of analysis. Ed. Association of Official Analytical Chemistry. Washington, D.C. U.S.A.
- Aradwad, P., Yadav, R., Arun Kumar, T. V., Shabeer, T. P. A., Raju, D. V. S., Kumar, P. N., & Sahoo, M. (2023). Mass transfer and color change kinetics of infrared drying of rose petals and its impact on physico-chemical properties. *Journal of Food Process Engineering*, 46(7), e14359. <https://doi.org/10.1111/JFPE.14359>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Bally, I. S. E., Bombarely, A., Chambers, A. H., Cohen, Y., Dillon, N. L., Innes, D. J., Islas-Osuna, M. A., Kuhn, D. N., Mueller, L. A., Ophir, R., Rambani, A., Sherman, A., & Yan, H. (2021a). The ‘Tommy Atkins’ mango genome reveals candidate genes for fruit quality. *BMC Plant Biology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02858-1>
- Bamogo, W. M., Tankoano, A., Guissou, W. D. B. A., Traoré, M. A. E., Kante-Traore, H., Parkouda, C., & Savadogo, A. (2026). Nutritional composition and bioactive compound of mango kernels and peels: Valorization of by-products. *Food and Humanity*, 6, 100971. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2025.100971>
- Bhattacharjee, S., Mohanty, P., Sahu, J. K., & Sahu, J. N. (2024). A critical review on drying of food materials: Recent progress and key challenges. En *International Communications in Heat and Mass Transfer* (Vol. 158). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107863>
- Bikila AM, Tola Y, Esho TB, Forsido SF. Effect of predrying treatment and drying temperature on proximate composition, mineral contents, and thermophysical properties of anchote (*Coccinia abyssinica* (Lam.) Cogn.) flour. *Food Sci Nutr*. 2020 Aug 31;8(10):5532-5544. doi: 10.1002/fsn3.1860. PMID: 33133555; PMCID: PMC7590342
- Borrás-Enríquez, A. J., Reyes-Ventura, E., Villanueva-Rodríguez, S. J., & Moreno-Vilet, L. (2021). Effect of Ultrasound-Assisted Extraction Parameters on Total Polyphenols and Its Antioxidant Activity from Mango Residues (*Mangifera indica* L. var. Manililla). *Separations* 2021, Vol. 8, 8(7). <https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS8070094>
- Bozdogan, N., Yaprak, A., Tavman, S., & Kumcuoglu, S. (2024). Mung bean flour-added extruded snack production: Evaluation of the pasting properties of flour blends and the physicochemical, morphological, and functional properties of the product. *Journal of Food Process Engineering*, 47(3). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14579>
- Bylappa, Y., Balasubramanian, B., Park, S., Joseph, K. S., Mathew Chacko, A., Narasimha Sudheer, W., Pappuswamy, M., Meyyazhagan, A., Liu, W. C., Nag, A., Mostashari, P., & Mousavi Khaneghah, A. (2024). Three decades of advances in extraction and analytical

- techniques for guava (*Psidium guajava* L.): A review. En *Results in Chemistry* (Vol. 10). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101708>
- Carranza-Téllez, José, Torres-Hernández, Daniela Mariel, Contreras-Martínez, Cristina Sarai, García-González, Juan Manuel, & Carranza-Concha, José. (2024). Influencia en la capacidad antioxidante de los fenoles totales, vitamina C y color en frutas. *Revista fitotecnica mexicana*, 47(1), 19-26. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.19>
- Çetin, N., & Sağlam, C. (2023). Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(2), 534–547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12164>
- Cosme-De Vera, F. H., Soriano, A. N., Dugos, N. P. & Rubi, R. V. C. (2021). A comprehensive review on the drying kinetics of common tubers. *Applied Science and Engineering Progress*, 14(2), 146-155
- Danielski, R., & Shahidi, F. (2023). Guava processing waste: Biological activity profile of a natural and sustainable source of phenolic antioxidants. *Food Bioscience*, 56, 103294. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103294>
- de Brito Araújo, A. J., da Silva, W. P., dos Santos Moreira, I., & Santos, N. C. (2021). Effect of drying temperature on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of “Palmer” mango peels. *Journal of Food Process Engineering*, 44(11), e13860. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13860>;SUBPAGE:STRING:FULL
- de Faria Cardoso, C. E., Trindade, M. E. F., Santana, M. G., Lobo, F. A. T. F., & Teodoro, A. J. (2023). Improvement of the phenolic composition and the antioxidant capacity of red guava (*Psidium guajava*) and watermelon (*Citrullus lanatus*) powders by means of foam blanket drying. *Food Chemistry Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100368>
- Dereje, B., & Abera, S. (2020). Efecto de los pretratamientos y métodos de secado en la calidad de las rodajas de mango (*Mangifera Indica* L.) deshidratadas. *Cogent Food & Agriculture*, 6 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1747961>
- Ferrari, C. C., Morgano, M. A., & Germer, S. P. M. (2021). Evaluation of water sorption isotherm, glass transition temperature, vitamin C and color stability of mango peel powder during storage. *SN Applied Sciences* 2021 3:2, 3(2), 210-. <https://doi.org/10.1007/S42452-021-04251-X>
- Frabetti, A. C., Durigon, A., Laurindo, J., de MORAES, J. O., & Carciofi, B. (2022). Physicochemical characterization and quantification of bioactive compounds of guava powder produced by cast-tape drying. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.44421>

- Francine Albernaz Lobo, Manuela Abreu Nascimento, Josiane Roberto Domingues, Deborah Quintanilha Falcão, Dolores Hernanz, Francisco J. Heredia, Kátia Gomes de Lima Araujo, Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity, *Food Chemistry*, Volume 221, 2017, Pages 258-266, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.080>.
- Gebeyehu, S. K., Asemu, A. M., Haile, A. S., & Kassa, M. G. (2025). Influence of temperature and mango pulp thickness on the performance of batch window refractance dryer. *Applied Food Research*, 5(1), 100939. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100939>
- Gomes, K. S., Berwian, G. F., Batistella, V. M. C., Bender, L. E., Reinehr, C. O., & Colla, L. M. (2023). Nutritional and Technological Aspects of the Production of Proteic Extruded Snacks Added of Novel Raw Materials. En *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 16, Número 2, pp. 247–267). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02887-0>
- GTC 315. (2020). Guía para la limpieza y desinfección de manos y superficies. In ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1st ed., p. 21).
- Hasan, M. M., Islam, M. R., Haque, A. R., Kabir, M. R., Khushe, K. J., & Hasan, S. M. K. (2024). Trends and challenges of fruit by-products utilization: insights into safety, sensory, and benefits of the use for the development of innovative healthy food: a review. *Bioresources and bioprocessing*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00722-8>
- Isaac O. Nyangena, Willis O. Owino, Samuel Imathiu, Jane Ambuko. (2019). Effect of pretreatments prior to drying on antioxidant properties of dried mango slices, *Scientific African*, Volume 6, 2019, e00148, ISSN 2468-2276, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00148>.
- Izli, N., Izli, G., & Taskin, O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology (Brazil)*, 37, 604–612. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316>
- Jakha, K. Hinokali, Goyal, Chhaya, Dhyani, Priya, Rai, Dinesh Chandra, sahariano, Baljeet Singh, Dhull, Sanju Bala, Duhan, Joginder Singh, Caracterización del polvo de cáscara de mango Langra y evaluación de su potencial prebiótico y antioxidante, *Journal of Food Biochemistry*, 2024, 9026617, 17 páginas, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/9026617>
- James, M., Imathiu, S., Engelsen, S. B., & Owino, W. (2025). Impact of extraction techniques and processing conditions on pectin and antioxidant recovery from mango peels. *Discover Food*, 5(1), 132. <https://doi-org.bd.univalle.edu.co/10.1007/s44187-025-00416-4>

- Kabir, M. R., Hasan, S. M. K., Islam, M. R., & Ahmed, M. (2024). Development of functional noodles by encapsulating mango peel powder as a source of bioactive compounds. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24061>
- Kalse, S. B., Jain, S. K., Swami, S. B., Panwar, N. L., Rajpurohit, D., Wadhwan, N., & Bhatnagar, A. (2025). A Comprehensive Review of Mechanisms, Heat Transfer Dynamics and the Hybrid Approach of Refractance Window™ Drying. *Food Engineering Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s12393-025-09399-5>
- Kalsi, G., Baruah, L. D., & Gogoi, M. (2023). Sensory and Functional Qualities of Fruit Leather Prepared from Guava (*Psidium Guajava*), Papaya (*Carica papaya* L.) and Mirika Tenga (*Parameria polyneura*). En *Agro and Food Processing Technologies: Proceedings of NERC 2022* (pp. 195–208). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9704-4_10
- Kassa, M. G., & Teferi, D. A. (2025). Impact of ripening stages and drying techniques on the physicochemical and sensory attributes of apple mango chips. *Journal of Food Science*, 90(1). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17585>
- Kasse, S., & Asrat, U. (2025). Efecto de la liofilización y el secado por ventana de refractancia en lotes sobre las características de calidad de la pulpa de mango. *Cogent Food & Agriculture*, 11 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2578324>.
- Kaveh, M., Zomorodi, S., Ghaysari, B., El-Mesery, H. S., Sharifian, F., ElMesiry, A. H., & Salem, A. (2025). Impact of various drying technologies for evaluation of drying kinetics, energy consumption, physical and bioactive properties of Rose flower. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94300-x>
- Kumar, M., Madhumita, M., Srivastava, B., & Prabhakar, P. K. (2022). Mathematical modeling and simulation of refractance window drying of mango pulp for moisture, temperature, and heat flux distribution. *Journal of Food Process Engineering*, 45(9). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14090>
- Kurniadi, M., Parnanto, N. H. R., Saputri, M. W., Sari, A. M., Indrianingsih, A. W., Herawati, E. R. N., Ariani, D., Juligani, B., Kusumaningrum, A., & Frediansyah, A. (2022). The effect of kappa-carrageenan and gum Arabic on the production of guava-banana fruit leather. *Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 4415–4426. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05521-1>
- Lalita, Giri, S. K., Mohapatra, D., Tripathi, M. K., Kate, A., & Wahid, A. (2024). Optimization of process parameters of refractance window drying for aonla slices and comparison with other drying techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13615>

- Lebaka, V. R., Wee, Y. J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in three different parts of mango fruit. En *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Número 2, pp. 1–20). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Leiton-Ramírez, Y. M., Ayala-Aponte, A., & Ochoa-Martínez, C. I. (2020). Physicochemical Properties of Guava Snacks as Affected by Drying Technology. *Processes*, 8(1), 106. <https://doi.org/10.3390/pr8010106>
- Lenucci, M. S., Tornese, R., Mita, G., & Durante, M. (2022). Bioactive Compounds and Antioxidant Activities in Different Fractions of Mango Fruits (*Mangifera indica* L., Cultivar Tommy Atkins and Keitt). *Antioxidants* 2022, Vol. 11, 11(3). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11030484>
- Lin, Q., Zong, X., Lin, H., Huang, X., Wang, J., & Nie, S. (2023). Based on quality, energy consumption selecting optimal drying methods of mango slices and kinetics modelling. *Food Chemistry: X*, 17, 100600. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100600>
- López, L. C., & Hincapié-Llanos, G. A. (2024). Comparison of Mango (*Mangifera indica*) Dehydration Technologies: A Systematic Review. *AgriEngineering*, 6(3), 2694–2717. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030157>
- Mandal, D., Wermund, U., Phavaphutanon, L., & Cronje, R. (s/f). *Tropical and Subtropical Fruit Crops: Production, Processing, and Marketing*.
- Martínez-Sánchez, C. E., Torres-Niño, M. S., Ramírez-Figueroa, E., Rodríguez-Miranda, J., Gallegos-Marín, I., Calderón-Chiu, C., & Herman-Lara, E. (2024). Evaluation of energy efficiency and quality parameters by drying beets with a refractive window (*Beta vulgaris*). *LWT*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116589>
- Martins, I. R., E Silva, J. de M., Waughon, T. G. M., Braga, A. C. C., Martins, L. H. da S., & Joele, M. R. S. P. (2025). Different concentrations of flour from amazonian tropical fruit residues on the composition of ternary mixture in edible ices. *Ciencia Rural*, 55. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230279>
- Melo Torres, L. I., Ortiz Melo, L. T., & Fonseca Pinto, D. E. (2024). Mapeo del conocimiento científico en la cadena productiva de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 16(1), 59-80. <https://doi.org/10.22490/21456453.7272>
- Minuye, M., Getachew, P., Laillou, A., Chitekwe, S., & Baye, K. (2021). Effects of different drying methods and ascorbic acid pretreatment on carotenoids and polyphenols of papaya fruit in Ethiopia. *Food Science and Nutrition*, 9(6), 3346–3353. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2324>

- Mugodo, K., & Workneh, T. S. (2021). The kinetics of thin-layer drying and modelling for mango slices and the influence of differing hot-air drying methods on quality. *Heliyon*, 7(6), e07182. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07182>
- Naeimi, E. F., Khoshtaghaza, M. H., Selvi, K. Ç., Ionescu, M., & Abbasi, S. (2025). Optimizing drying and storage for edible mushrooms: Study on gamma irradiation levels, drying temperatures, and packaging materials with SVM-based predictions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 72, 106288. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106288>
- Nansereko, S., Muyonga, J., & Byaruhanga, Y. B. (2022). Influence of Drying Methods on Jackfruit Drying Behavior and Dried Products Physical Characteristics. *International Journal of Food Science*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8432478>
- Nguyen, P. B. D., Nguyen, T. V. L., & Nguyen, T. T. D. (2024). Effect of Infrared Drying on the Drying Kinetics and the Quality of Mango (*Mangifera indica*) Powder. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(1), 69–81. <https://doi.org/10.31883/PJFNS/182962>
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 510. (2023). Frutas frescas. Mango. Variedades mejoradas. Especificaciones.
- OECD/FAO (2024), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2024-2033, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome, <https://doi.org/10.1787/2b0c9d81-es>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Cultivos y productos ganaderos, 2023. <Disponible en:<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> >.
- Ortiz-Jerez, M. J., Sánchez, A. F., & Zapata Montoya, J. E. (2022). Drying kinetics and sensory characteristics of dehydrated pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) obtained by refractance window drying. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10947>
- Pacheco-Jiménez AA, Lizardi-Mendoza J, Heredia JB, Gutiérrez-Grijalva EP, Quintana-Obregón EA, Muy-Rangel MD. Physicochemical characterization of pectin and mango peel (*Mangifera indica* L.) from Mexican cultivars. *Heliyon*. 2024 Jul 25;10(15):e35184. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35184. PMID: 39170338; PMCID: PMC11336421.
- Pacheco-Jiménez, A. A., Basilio Heredia, J., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Quintana-Obregón, E. A., & Muy-Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>

- Preciado-Saldaña, AM, Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, MA, Domínguez-Avila, JA, & González-Aguilar, GA (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92-99.
- Priyadarshini, A., Rayaguru, K., Biswal, A. K., Panda, P. K., Lenka, C., & Misra, P. K. (2023). Impact of conventional and ohmic blanching on color, phytochemical, structural, and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) cubes: A comparative analysis. *Food Chemistry Advances*, 2, 100308. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100308>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2024). Instructivo técnico para el cultivo del mango.
- Radojčin, M., Pavkov, I., Kovačević, D. B., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., Kešelj, K., & Gere, A. (2021). Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: A review. En *Processes* (Vol. 9, Número 1, pp. 1–21). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Rajoriya, D., Bhavya, M. L., & Hebbar, H. U. (2021). Impact of process parameters on drying behaviour, mass transfer and quality profile of refractance window dried banana puree. *LWT*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111330>
- Rakariyatham, K., Boonyapranai, K., Laokuldilok, T., Utama-ang, N., Nutprem, A., Kaewprasit, K., & Tatongjai, K. (2025a). Impact of different dehydration methods on physicochemical and functional properties of guava (*Psidium guajava* L.) powder prepared from white and pink pomaces. *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100696>
- Rakariyatham, K., Boonyapranai, K., Laokuldilok, T., Utama-ang, N., Nutprem, A., Kaewprasit, K., & Tatongjai, K. (2025b). Impact of different dehydration methods on physicochemical and functional properties of guava (*Psidium guajava* L.) powder prepared from white and pink pomaces. *Applied Food Research*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100696>
- Ramadan, A. H., Ghanem, T. H., & Eissa, A. S. (2022). Some engineering factors affecting refractance window drying of guava. *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering*, 4(1), 10–20. <https://doi.org/10.21608/azeng.2022.278935>
- Razola-Díaz, M. del C., Guerra-Hernández, E. J., Gómez-Caravaca, A. M., García-Villanova, B., & Verardo, V. (2023). Mathematical modelling of drying kinetics of avocado peels and its influence on flavan-3-ols content and antioxidant activity. *LWT*, 176, 114552. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114552>
- Ropero-Orsorio, O., Cañar-Serna, D. Y., Mejia-De Tafur, M. S., Caicedo-Arana, Á., Enriquez-Valencia, A. L., Aguilera-Arango, G. A., & Rodríguez-Henao, E. (2023). Physicochemical

- Evaluation of Guava Germplasm Fruits Conserved in Agrosavia, Colombia. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 24(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3271
- Rout, S., Tripathy, S., & Prakash Srivastav, P. (2025). Valorization of Mango Peels Toward Sustainability and Circular Economy by Combining Pretreatment and Drying With Ultrasound Assisted Extraction: Mathematical Modeling, Functional Properties, and Identification of Mangiferin by HPLC. *Journal of Food Process Engineering*, 48(3), e70079. <https://doi.org/10.1111/jfpe.70079>
- Rurush, E., Alvarado, M., Palacios, P., Flores, Y., Rojas, M. L., & Miano, A. C. (2022). Drying kinetics of blueberry pulp and mass transfer parameters: Effect of hot air and refractance window drying at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 320, 110929. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110929>
- Sahal, A., Chaudhary, S., Hussain, A., Arora, S., Dobhal, A., Ahmad, W., Kumar, V., & Kumar, S. (2025). A comprehensive review on the nutritional composition, bioactive potential, encapsulation techniques, and food system applications of guava (*Psidium guajava* L.) leaves. En *Grain and Oil Science and Technology*. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.12.003>
- Salazar-López, N. J., Enríquez-Valencia, S. A., Zuñiga Martínez, B. S., & Gustavo A. González-Aguilar, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *EPISTEMUS*, 17. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265>
- Samrawit Kasse Gebeyehu, Aynadis Molla Asemu, Abiy Solomon Haile, Messenbet Geremew Kassa, Influence of temperature and mango pulp thickness on the performance of batch window refractance dryer, *Applied Food Research*, Volume 5, Issue 1, 2025, 100939, ISSN 2772-5022, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100939>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502225002471>)
- Santos, A. A. d. L., Leal, G. F., Marques, M. R., Reis, L. C. C., Junqueira, J. R. d. J., Macedo, L. L., & Corrêa, J. L. G. (2025). Emerging Drying Technologies and Their Impact on Bioactive Compounds: A Systematic and Bibliometric Review. *Applied Sciences*, 15(12), 6653. <https://doi.org/10.3390/app15126653>
- Schappo, F. B., Ferreira, B. L., & Nunes, I. L. (2024). Trends in the full use of the superfruit *Psidium guajava*: a scientific and technological review. En *Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05652-9>
- Serna Saldívar, S. R. O. (Ed.). (2022). *Snack foods : processing, innovation, and nutritional aspects / edited by Sergio O. Serna-Saldivar. (First edition.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003129066>

- Shahsavari, R., & Rastegar, S. (2025). Innovative Gelatin-Based Edible Coatings for Preserving Postharvest Quality of Guava (*Psidium guajava* L.) Fruit. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 12(3), 909–922. <https://doi.org/10.22059/IJHST.2024.377804.864>
- Sharma, P., Indu, P., Dadhaneeya, H., & Nema, P. K. (n.d.). Carpathian journal of food science and technology smart iot-enabled ir-assisted refractance window drying kinetics of guava pulp and quality analysis. <https://doi.org/10.34302/2025.17.3.9>
- Shende, D., & Datta, A. K. (2020). Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 683–692. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04101-0>
- Silva, F., Veiga, F., Cardoso, C., Dias, F., Cerqueira, F., Medeiros, R., & Cláudia Paiva-Santos, A. (2024). A rapid and simplified DPPH assay for analysis of antioxidant interactions in binary combinations. *Microchemical Journal*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.110801>
- Silva, L. C. de M., Souza, D. G., Mesquita, A. A., Medeiros, E. C. N., Romani, V. P., Caliari, M., Plácido, G. R., Resende, O., Oliveira, D. E. C. de, & Silva, M. A. P. da. (2024). Drying kinetics and thermodynamic properties of guava peel. *Ciência Rural*, 54(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230318>
- Suresh, A., Shobna, Salaria, M., Morya, S., Khalid, W., Afzal, FA, ... Mukonzo Kasongo, EL (2024). Fibra dietética: un componente alimentario sin igual para una salud sostenible. *Food and Agricultural Immunology*, 35 (1). <https://doi.org/10.1080/09540105.2024.2384420>
- Taghinezhad, E., Kaveh, M., & Szumny, A. (2021). Thermodynamic and Quality Performance Studies for Drying Kiwi in Hybrid Hot Air-Infrared Drying with Ultrasound Pretreatment. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, 11(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/APP11031297>
- Talukdar, P., Baruah, K. N., Barman, P. J., Sharma, S., & Uppaluri, R. V. S. (2025). Development and Characterization of Refractance Window-Dried Curcuma longa Powder Fortified with NaFeEDTA and Folic Acid: A Study on Thermal, Morphological, and In Vitro Bio Accessibility Properties. *Foods*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/foods14040658>
- Ting, UH, Abidin, MZb, Tieng, FYF *et al.* Calidad poscosecha de guayaba con un nuevo recubrimiento de goma arábica, cera de abejas y aceite de coco en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 24 , 6 (2025). <https://doi-org.bd.univalle.edu.co/10.1007/s44447-025-00009-8>
- USDA. (2019). Agricultural Research Service. United State Department of Guayabas, comunes, crudas.

- USDA. (2024). Agricultural Research Service. United State Department of Agriculture. Mango, Tommy
- Verónica Marcillo-Parra, Mayra Anaguano, Maritza Molina, Diego Santiago Tupuna-Yerovi, Jenny Ruales, Characterization and quantification of bioactive compounds and antioxidant activity in three different varieties of mango (*Mangifera indica* L.) peel from the Ecuadorian region using HPLC-UV/VIS and UPLC-PDA, *NFS Journal*, Volume 23, 2021, Pages 1-7, ISSN 2352-3646, <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.02.001>.
- Viáfara-Banguera, D., Reyes-Mera, J. J., Caicedo-Quinche, W. O., & Paredes-Ulloa, C. O. (2024). Composición química y compuestos fenólicos totales de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) en diferentes estados de maduración bajo las condiciones de la Amazonia ecuatoriana. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E4), 466–485. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/504>
- Villalobos, A., Álvarez, R., Cubero, E., & Usaga, J. (2020). Sodium reduction in tomato sauce and mayonnaise through the application of a sensory threshold approach. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 70, 134–143. <https://doi.org/10.37527/2020.70.2.006>
- Waghmare, R. (2021). Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 110, pp. 652–662). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.030>
- Wang, S., Fang, Y., Xu, Y., Zhu, B., Piao, J., Zhu, L., Yao, L., Liu, K., Wang, S., Zhang, Q., Qin, L., & Wu, J. (2022). The effects of different extraction methods on physicochemical, functional and physiological properties of soluble and insoluble dietary fiber from *Rubus chingii* Hu. fruits. *Journal of Functional Foods*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105081>
- Wassie, H. M., Getie, M. Z., Alemu, M. A., Admasu, B. T., Alem, M. S., Alemu, A. G., Solomon, H. G., & Taye, A. A. (2025). Experimental Study and Mathematical Modeling of Thin-Layer Drying Kinetics of Mango Slice. *Green Energy and Technology*, Part F179, 161–180. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81730-4_10
- Worku, L. A., Zebeaman, M., Bachheti, R. K., Bachheti, A., Rawat, Y. S., Husen, A., & Shiferaw, R. G. (2024). Ethnomedical Use, Phytochemistry, Nutritional Profile, Commercial Potential, and Other Potential Applications of *Psidium guajava* (Guava). *Journal of Food Quality*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/jfq/6076403>
- Yeganehzad, S., Kiumarsi, M., Nadali, N., & Rabie Ashkezary, M. (2020). Formulation, development and characterization of a novel functional fruit snack based on fig (*Ficus*

carica L.) coated with sugar-free chocolate. *Heliyon*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04350>

Yousaf AA, Zeng H, Abbasi KS, Bergholz T, Siddiq M, Dolan K. Development and biochemical characterization of freeze-dried guava powder fortified with *Lactobacillus plantarum*. *J Food Sci*. 2024 Dec;89(12):8644-8657. doi: 10.1111/1750-3841.17537. Epub 2024 Nov 26. PMID: 39592245; PMCID: PMC11673464.

Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*, 69, 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>

13. ANEXOS

Anexo 1. Datos obtenidos en la implementación de modelos empíricos.

Modelo	Parámetros y criterios	Mango			Guayaba			Cáscara de mango		
		70 °C	80 °C	90 °C	70 °C	80 °C	90 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Newton	k	4,23E-02	4,88E-02	7,25E-02	4,04E-02	4,58E-02	5,10E-02	2,25E-02	2,51E-02	2,68E-02
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	9,75E-01	1,00E+00	1,00E+00	9,97E-01	9,97E-01	1,00E+00	1,00E+00
	ECM	2,11E-03	2,05E-04	6,90E-02	6,04E-03	1,78E-04	5,53E-03	3,97E-03	2,72E-03	3,56E-03
	SCE	4,44E-06	4,20E-08	4,76E-03	3,65E-05	3,18E-08	3,06E-05	1,58E-05	7,40E-06	1,27E-05
	RSME	4,45E-03	1,39E-03	1,80E-02	1,61E-02	5,34E-03	1,17E-03	1,32E-01	1,00E-01	1,12E-01
Page	k	2,19E-02	3,31E-02	9,04E-02	1,02E-03	2,05E-02	4,06E-02	1,05E-04	3,54E-04	3,77E-04
	n	1,19E+00	1,12E+00	8,91E-01	1,24E+00	1,07E+00	8,93E-03	2,41E+00	2,16E+00	2,15E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	ECM	1,10E-02	6,27E-03	1,14E-03	9,99E-01	1,45E-02	1,03E-02	6,61E-02	5,91E-02	6,30E-02
	SCE	1,22E-04	3,93E-05	9,94E-01	3,24E-04	2,09E-04	1,06E-04	4,37E-03	3,49E-03	3,97E-03
	RSME	1,03E-03	3,78E-04	6,81E-03	1,80E-02	9,08E-04	7,99E-04	1,48E-02	1,14E-02	1,90E-02
Henderson and Pabis	k	4,29E-02	4,90E-02	6,42E-02	4,15E-02	1,48E+00	5,11E-02	2,50E-02	2,75E-02	2,94E-02
	a	1,02E+00	1,01E+00	9,96E-01	1,03E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,14E+00	1,12E+00	1,12E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	9,90E-01	9,99E-01	7,30E-01	1,00E+00	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	ECM	5,58E-03	1,85E-03	4,26E-02	1,42E-02	2,61E-01	4,73E-03	3,81E-02	3,14E-02	3,11E-02
	SCE	3,12E-05	3,41E-06	1,82E-03	2,02E-04	6,80E-02	2,24E-05	1,45E-03	9,83E-04	9,68E-04
	RSME	4,19E-03	1,34E-03	9,41E-03	1,48E-02	3,78E-01	1,16E-03	1,07E-01	8,25E-02	9,31E-02
Logarítmico	k	4,29E-02	4,90E-02	6,56E-02	4,15E-02	4,63E-02	5,14E-02	2,50E-02	2,75E-02	2,94E-02
	a	1,02E+00	1,01E+00	9,91E-01	1,03E+00	1,02E+00	0,00E+00	1,14E+00	1,12E+00	1,12E+00
	c	0,00E+00	0,00E+00	6,34E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	9,96E-01	9,99E-01	1,00E+00	2,78E-02	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	ECM	5,58E-03	1,85E-03	2,54E-02	1,42E-02	3,79E-03	4,81E-01	3,81E-02	3,14E-02	3,11E-02
	SCE	3,12E-05	3,41E-06	6,46E-04	2,02E-04	1,43E-05	2,31E-01	1,45E-03	9,83E-04	9,68E-04

	RSME	4,19E-03	1,34E-03	8,89E-03	1,48E-02	5,08E-03	1,28E+00	1,07E-01	8,25E-02	9,31E-02
Dos Términos	k	4,29E-02	4,90E-02	5,62E-02	4,15E-02	4,63E-02	5,11E-02	2,50E-02	2,75E-02	2,94E-02
	a	5,08E-01	6,52E-01	8,46E-01	5,17E-01	6,52E-01	5,02E-01	9,95E-01	9,74E-01	9,76E-01
	b	5,08E-01	5,03E-01	1,54E-01	5,17E-01	3,63E-01	5,02E-01	1,41E-01	1,42E-01	1,44E-01
	k1	4,29E-02	4,90E-02	7,86E-01	4,15E-02	4,63E-02	5,11E-02	2,50E-02	2,75E-02	2,94E-02
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	9,93E-01	9,99E-01	1,00E+00	1,00E+00	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	ECM	5,58E-03	1,85E-03	3,56E-02	1,42E-02	3,78E-03	4,73E-03	3,81E-02	3,13E-02	3,11E-02
	SCE	3,12E-05	3,41E-06	1,26E-03	2,02E-04	1,43E-05	2,24E-05	1,45E-03	9,83E-04	9,68E-04
	RSME	4,19E-03	1,34E-03	6,49E-03	1,48E-02	5,08E-03	1,16E-03	1,07E-01	8,25E-02	9,31E-02
Difusión	k	4,29E-02	4,90E-02	9,68E-02	4,15E-02	4,63E-02	5,11E-02	2,50E-02	2,75E-02	2,94E-02
	a	5,08E-01	5,03E-01	5,00E-01	5,17E-01	5,08E-01	5,02E-01	5,68E-01	5,58E-01	5,60E-01
	b	1,00E+00	1,00E+00	4,80E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	9,94E-01	9,99E-01	1,00E+00	1,00E+00	9,98E-01	9,98E-01	9,98E-01
	ECM	5,58E-03	1,85E-03	3,31E-02	1,42E-02	3,79E-03	4,73E-03	3,81E-02	3,13E-02	3,11E-02
	SCE	3,12E-05	3,41E-06	1,10E-03	2,02E-04	1,43E-05	2,24E-05	1,45E-03	9,83E-04	9,68E-04
	RSME	4,19E-03	1,34E-03	7,21E-03	1,48E-02	5,08E-03	1,16E-03	1,07E-01	8,25E-02	9,31E-02
Midilli	k	6,31E-01	1,00E+00	8,87E-02	6,31E-01	6,30E-01	3,98E-02	1,26E-04	4,33E-04	5,43E-04
	n	1,00E+00	1,00E+00	8,98E-01	1,50E+00	9,00E-01	1,08E+00	2,37E+00	2,10E+00	2,08E+00
	a	9,71E-01	1,00E+00	1,00E+00	9,70E-01	9,77E-01	9,99E-01	1,01E+00	1,02E+00	1,03E+00
	b	9,48E-05	7,08E-05	1,56E-05	9,84E-05	8,80E-05	1,93E-05	7,85E-05	6,87E-05	6,42E-05
	R ²	7,76E-01	8,20E-01	9,96E-01	7,65E-01	8,00E-01	1,00E+00	9,99E-01	9,99E-01	9,99E-01
	ECM	2,49E-01	2,06E-01	2,74E-02	2,62E-01	2,23E-01	2,27E-03	2,59E-02	2,21E-02	2,23E-02
	SCE	6,20E-02	4,25E-02	7,50E-04	6,88E-02	4,99E-02	5,16E-06	6,70E-04	4,90E-04	4,98E-04
	RSME	4,26E-01	3,15E-01	6,85E-03	5,13E-01	3,75E-01	6,69E-04	1,22E-02	9,23E-03	1,60E-02

Modelo	Parámetros y criterios	Mezcla (25-75)			Mezcla (50-50)			Mezcla (75-25)		
		70 °C	80 °C	90 °C	70 °C	80 °C	90 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Newton	k	3,15E-02	4,33E-02	4,02E-02	3,38E-02	4,19E-02	5,00E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,50E-02
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,97E-01	9,96E-01	1,00E+00	0,00E+00	9,97E-01	1,00E+00

	ECM	6,18E-03	7,56E-03	6,81E-03	3,46E-03	3,27E-02	1,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,02E-04
	SCE	3,82E-05	5,72E-05	4,64E-05	1,19E-05	1,07E-03	3,58E-06	0,00E+00	0,00E+00	9,15E-08
	RSME	5,14E-02	9,20E-03	1,50E-02	2,86E-02	2,27E-02	1,85E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,93E-03
Page	k	2,10E-03	1,42E-02	1,96E-02	5,34E-03	3,23E-02	3,33E-02	3,14E-03	2,61E-02	2,73E-02
	n	1,76E+00	1,42E+00	1,33E+00	1,52E+00	1,12E+00	1,00E+00	1,65E+00	1,25E+00	1,22E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
	ECM	3,26E-02	1,10E-02	1,60E-02	2,75E-02	8,15E-02	9,88E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,39E-02
	SCE	1,06E-03	1,21E-04	2,55E-04	7,56E-04	6,64E-03	9,76E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,93E-04
	RSME	5,66E-03	6,53E-04	9,43E-04	4,46E-03	3,23E-02	7,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	9,12E-04
Henderson and Pabis	k	3,34E-02	4,41E-02	4,12E-02	3,52E-02	1,48E+00	5,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,56E-02
	a	0,00E+00	1,02E+00	1,03E+00	1,05E+00	1,00E+00	1,01E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+00
	R ²	9,98E-01	9,99E-01	9,99E-01	9,99E-01	6,69E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	ECM	2,59E-02	1,31E-02	1,47E-02	1,64E-02	3,27E-01	3,41E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-03
	SCE	6,70E-04	1,71E-04	2,15E-04	2,70E-04	1,07E-01	1,16E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-05
	RSME	4,47E-02	8,60E-03	1,38E-02	2,55E-02	5,75E-01	1,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,67E-03
Logarítmico	k	3,34E-02	4,41E-02	4,12E-02	3,52E-02	4,25E-02	5,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,56E-02
	a	1,07E+00	1,02E+00	1,03E+00	1,05E+00	1,02E+00	1,01E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E+00
	c	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,93E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	R ²	9,98E-01	9,99E-01	9,99E-01	9,99E-01	9,97E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	ECM	2,59E-02	1,31E-02	1,47E-02	1,64E-02	2,85E-02	1,14E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-03
	SCE	6,70E-04	1,71E-04	2,15E-04	2,70E-04	8,13E-04	1,29E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-05
Dos Términos	RSME	4,47E-02	8,60E-03	1,38E-02	2,55E-02	2,15E-02	1,79E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,67E-03
	k	0,00E+00	4,41E-02	4,12E-02	0,00E+00	4,25E-02	5,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,56E-02
	a	0,00E+00	5,12E-01	5,16E-01	0,00E+00	6,52E-01	5,03E-01	0,00E+00	0,00E+00	5,08E-01
	b	0,00E+00	5,12E-01	5,16E-01	0,00E+00	3,67E-01	5,03E-01	0,00E+00	0,00E+00	5,08E-01
	k1	0,00E+00	4,41E-02	4,12E-02	0,00E+00	4,25E-02	5,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,56E-02
	R ²	0,00E+00	9,99E-01	9,99E-01	0,00E+00	9,97E-01	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	ECM	0,00E+00	1,31E-02	1,47E-02	0,00E+00	2,85E-02	3,41E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-03
	SCE	0,00E+00	1,71E-04	2,15E-04	0,00E+00	8,13E-04	1,16E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-05

	RSME	0,00E+00	8,60E-03	1,38E-02	0,00E+00	2,15E-02	1,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,67E-03
Difusión	k	3,34E-02	4,41E-02	4,12E-02	3,52E-02	4,25E-02	5,02E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,56E-02
	a	5,37E-01	5,12E-01	5,16E-01	5,26E-01	5,09E-01	5,03E-01	0,00E+00	0,00E+00	5,08E-01
	b	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	R ²	9,98E-01	9,99E-01	9,99E-01	9,99E-01	9,97E-01	1,00E+00	2,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	ECM	2,59E-02	1,31E-02	1,47E-02	1,64E-02	2,85E-02	3,41E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-03
	SCE	6,70E-04	1,71E-04	2,15E-04	2,70E-04	8,13E-04	1,16E-07	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-05
	RSME	4,47E-02	8,60E-03	1,38E-02	2,55E-02	2,15E-02	1,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,67E-03
Midilli	k	2,22E-03	1,40E-02	6,30E-01	5,39E-03	5,29E-01	2,30E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	n	1,75E+00	1,34E+00	1,00E+00	1,52E+00	1,51E+00	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	a	1,01E+00	1,00E+00	9,73E-01	1,01E+00	1,00E+00	9,79E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	b	4,52E-05	1,63E-05	9,87E-05	3,72E-05	1,12E-04	7,64E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	R ²	1,00E+00	1,00E+00	7,66E-01	1,00E+00	7,67E-01	8,33E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00
	ECM	9,69E-03	3,94E-03	2,62E-01	9,89E-03	2,72E-01	1,93E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,14E-03
	SCE	9,40E-05	1,55E-05	6,88E-02	9,78E-05	7,42E-02	3,71E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,71E-05
	RSME	4,82E-03	5,58E-04	5,12E-01	3,94E-03	5,70E-01	2,72E-01	0,00E+00	0,00E+00	7,30E-04

