European Public & Social Innovation Review

ISSN 2529-9824

Artículo de Investigación

Cinética de secado de *Citrus reticulata*: influencia en el sabor y textura de una masa para empanada

Drying kinetics of *Citrus reticulata*: influence on the flavor and texture of a patty dough

Dániza Mirtha Guerrero Alva[1]: Universidad Nacional del Callao, Perú.
dmguerreroa@unac.edu.pe
Renato Motta Guerrero: Universidad Ricardo Palma, Perú.
renato.motta@urp.edu.pe

Fecha de Recepción: 29/12/2024

Fecha de Aceptación: 30/01/2025

Fecha de Publicación: 04/02/2025

Cómo citar el artículo

Guerrero-Alva, D. M. y Motta-Guerrero, R. (2025). Cinética de secado de Citrus reticulata: influencia en el sabor y textura de una masa para empanada [Drying kinetics of Citrus reticulata: influence on the flavor and texture of a patty dough]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-18. https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1423

Resumen

Introducción: La mandarina (*Citrus reticulata*), consumida fresca o procesada, deja la cáscara como residuo contaminante. La investigación propone su recuperación tecnológica. **Metodología:** Se empleó un deshidratador eléctrico por convección a 70°C para secado de cáscaras, cámara de refrigeración no frost a 10°C para determinar humedad total, libre y de equilibrio, cinética de secado, coeficiente de difusividad, y energía de activación; escala hedónica y ANOVA (p= <0,05) para el mejor porcentaje de adición de cáscara en polvo en masa de empanada. **Resultados:** El tiempo de secado a 70°C y 10°C fue 5 y 480 horas, y la humedad de equilibrio de 0,20 y 0,2612 kg de agua/kg de sólido seco respectivamente. El coeficiente de difusividad efectiva varía entre 1,430128E-10 m2s-1 y 4,7256E-9 m2s-1, y la energía de activación de 79,40 kJ/mol. **Discusión:** Hay relación inversa entre temperatura de secado y tiempo y humedad de equilibrio; la tasa de humedad y tiempo de secado guardan relación no lineal polinómica de tercer y cuarto grado. **Conclusiones***:* El mejor sabor y textura de masa fue con 5% y 7,5%, y 2,5% aplicando cáscara secada a 70ºC y 10ºC respectivamente.

[1] **Autor Correspondiente:** Dániza Mirtha Guerrero Alva. Universidad Nacional del Callao (Perú).

CC BY NC ND

Palabras clave: Citrus reticulata, cáscara, secado, cinética, energía de activación, masa, sabor, textura.

Abstract
Introduction: The tangerine (Citrus reticulata), consumed fresh or processed, leaves the peel as a contaminating residue. The research proposes its technological recovery. **Methodology:** An electric convection dehydrator at 70°C was used to dry shells, a no frost refrigeration chamber at 10°C to determine total, free and equilibrium humidity, drying kinetics, diffusivity coefficient, and activation energy; hedonic scale and ANOVA (p=<0,05) for the best percentage. **Results:** The drying time at 70ºC and 10ºC was 5 and 480 hours, and the equilibrium humidity was 0,20 and 0,2612 kg of water/kg of dry solid respectively. The effective diffusivity coefficient varies between 1,430128E-10 m2s-1 and 4,7256E-9 m2s-1, and the activation energy of the 79,40 kJ/mol. **Discussion:** There is an inverse relationship between drying temperature and equilibrium time and humidity; the humidity rate and drying time have a nonlinear polynomial relationship of the third and fourth degree. **Conclusions:** The best flavor and texture of dough was with 5% and 7,5% and 2,5% applying peel dried at 70ºC and 10ºC respectively.

Keywords: Citrus reticulata, peel, drying, kinetics, activation energy, dough, flavor, texture.

1. Introducción

La historia de los cítricos se remonta a unos veinte millones de años en el sudeste asiático, y en un inicio posiblemente no formaban parte de la dieta de las personas por su elevada acidez, ya que los cítricos actuales se diferencian mucho de sus ancestros, pero sí se utilizaban las flores y los aceites esenciales de los frutos; la selección y domesticación para utilizarlos como alimentos data entre 6.000 a 10.000 años, una prueba de ello es el libro chino de Yu Gong con más de 4.000 años de antigüedad, en el que ha quedado registrado el consumo de los cítricos (Gómez *et al.*, 2021).

Este cultivo ha sufrido modificaciones producidas por selección natural, pero también por hibridaciones tanto naturales como producidas por el hombre, considerándose que se explicaría la presencia de estos frutos en ámbitos tan lejanos a los lugares de origen, por los grandes eventos migratorios que tuvieron lugar durante la historia universal, de Asia hasta el norte de África y al sudeste de Europa, desde donde llegó a América con los viajes de Colón (Gómez, 2015); los misioneros católicos las introdujeron en el Caribe y Brasil, y luego al resto del continente con notable éxito ya que los cítricos pueden ser cultivados en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo dentro de la franja comprendida entre los 40° de latitud N y S (Federcitrus, 2018); además, la clasificación botánica fue descrita como *Citrus reticulata* por el botánico y eclesiástico español fray Manuel María Blanco Ramos en el libro Flora de Filipinas (Blanco, 1837).

1.1. Producción

Es así como dentro del grupo de los cítricos de producción nacional encontramos a la mandarina (*Citrus reticulata*), muy consumida como fruta fresca pero también empleada en la producción de mermeladas y jugos; quedando por tal motivo las cáscaras de mandarina como residuos contaminantes, las cuales como en otras frutas, contienen compuestos bioactivos importantes que podrían reingresar a la cadena alimentaria (Arguero, 2018, Dogan *et al.*, 2020). Los cítricos son cultivos muy abundantes a nivel mundial siendo los más importantes la naranja, la mandarina y el limón, por lo que las cáscaras son una materia prima de gran potencial (Tejeda *et al.*, 2014).

En este caso, la transformación industrial de la mandarina deviene en la elaboración de jugos, concentrados, néctares, jaleas y mermeladas; siendo los subproductos entre el 40% y el 50% del peso de la fruta entera, convirtiéndose estos residuos en alimento animal o abono para la agricultura; pero que resultan ser poco rentables (Calderón, 2014); por tal motivo se requiere otras alternativas como el secado y molienda de las cáscaras, para convertirlas en un aditivo empleable en la producción de masas especiales como la masa para empanada de horno, en la que no se ha probado su adicción.

Por otro lado, se conoce que, durante las épocas de cosecha de los cítricos, los productores pueden verse expuestos a inestabilidades económicas influenciadas por los intermediarios, lo que puede ocasionar precios bajos al productor (Bejarano, 2018), de allí que es importante conocer el proceso de secado de la cáscara de mandarina a fin de hallar las condiciones más adecuadas de proceso que permitan reducir las pérdidas económicas.

De acuerdo con el Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias (SIEA) del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego de Perú, la producción de mandarinas en el país fue de 525.000 toneladas el 2021, registrando un crecimiento a una tasa del 9% desde el año 2010, vale decir el triple del crecimiento de otro cítrico importante como la naranja (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

1.2. Componentes

Las cáscaras de mandarina poseen fibra, antioxidantes, vitaminas y aceites esenciales, que pueden ser utilizados en la formulación de alimentos (Sáez, 2017), especialmente para ser adicionadas en masas preparadas en pastelería como las de empanada, cuyas masas sirven para cubrir rellenos de dulce, carne picada o de otro alimento (RAE, 2001). El volumen de residuos de cítricos que vienen siendo estudiados develan la presencia de compuestos fenólicos y terpenos, asociados con propiedades biológicas muy importantes como la actividad antimicrobiana, la actividad antioxidante, la antiinflamatoria y la anti mutagénica (Romero, 2022). La tendencia en el consumo de alimentos es la búsqueda de propuestas saludables y sensorialmente aceptables aprovechando y recuperando los compuestos naturalmente presentes en los alimentos (Ibarra, 2021).

Por su parte Córdova y Velásquez (2021), han desarrollado el proceso de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor y a nivel de planta piloto, empleando las cáscaras de naranja, mandarina, limón y lima, determinando las condiciones de procesamiento en las unidades de extracción y de separación de fases, que garantizarían buen rendimiento y calidad del aceite esencial en términos de D-limoneno, cantidad que fue superior a 93%, mientras que el menor porcentaje de 50,24%, fue obtenido con las cáscaras de limón.

Juárez (2021), describió la composición química de los subproductos de la mandarina, limón y toronja, en la fermentación en estado sólido, así como los procesos de extracción para obtener los compuestos bioactivos presentes en estos materiales; centrándose en la recuperación de pectina, y los factores de humedad relativa, temperatura, e inóculo, que fueron los factores determinantes de este proceso; pero también en la extracción de aceites esenciales, y compuestos fenólicos.

Otros investigadores han hallado entre los componentes de las cáscaras de mandarina (*Citrus reticulata*), mayor cantidad de fibra dietética, magnesio y carotenoides que en las cáscaras de naranja y toronja; con una buena cantidad de polifenoles; por lo que podría ser adecuada para la prevención de ciertas enfermedades cardiovasculares y como fuente de fibra (Rincón *et al.*, 2005).

Por otro lado, Babazadeh-Darjazi (2017) ha investigado los componentes de la cáscara y la calidad del jugo en tres híbridos de mandarina extraídos por prensado en frío y analizados por GC-FID y GC-MS; hallando ácido ascórbico, aldehídos, alcoholes, ésteres, monoterpenos, sesquiterpenos, y otros, siendo los componentes principales el limoneno, y-terpineno, (E)-β-ocimeno, β-mirceno, sabineno, linalool, y α-pineno. Se ha probado la aplicación de fibra de la cáscara de la naranja, para ser añadida a productos lácteos, con la finalidad de determinar su posible aplicación, con el problema por resolver del sabor amargo remanente y fibroso (Martínez *et al.*, 2008), lo cual puede controlarse con la cantidad de producto añadido y proceso posterior. Además, se ha evaluado el potencial del epicarpio de mandarina de la variedad Oneco (*Citrus reticulata*) como colorante de pan; analizándose el pH, la actividad de agua y los parámetros de color como la luminosidad, la cromaticidad y el ángulo de tono; el porcentaje de acidez, el porcentaje de materia seca, la cuantificación de carotenoides y compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y los parámetros de color en el pan, concluyendo que puede ser una alternativa como colorante en el pan (Ordoñez *et al.*, 2020).

También se ha extraído los colorantes naturales de la cáscara de mandarina empleando un equipo soxhlet, concentrando el resultado con un rotavapor; el control de calidad del colorante en este estudio estuvo en base a la densidad, el índice de refracción, el grado brix y el pH, siendo un colorante liposoluble (Díaz, 2019).

De lo expuesto, se propuso como objetivos de la presente investigación:

(1) secar la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*), y hallar la humedad total, la humedad libre y la humedad de equilibrio;

(2) hallar la cinética de secado de la cáscara de mandarina y el coeficiente de difusividad efectiva a temperaturas de secado de 70°C y 10°C y la energía de activación,

(3) determinar las mejores características de sabor y textura que proporciona la adición de diferentes porcentajes de cáscara de mandarina en polvo en una fórmula de masa de empanada para horno.

El estudio se justifica:

(a) por el rendimiento nacional de la producción de mandarina en el campo que alcanza 20 toneladas por hectárea, vulnerable a las condiciones climáticas que podrían incrementar las pérdidas en cultivo y el consiguiente incremento de residuos,

(b) necesidad de comparar los resultados del proceso de secado empleando la temperatura de 10°C con la de 70°C,

(c) iniciar los estudios para la conversión de la cáscara de mandarina en un recurso utilizable en la masa (para empanadas de horno) por no haber sido ensayada su adición y de esa manera colaborar con la reducción de residuos.

2. Metodología

Material empleado: Cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*).
Equipos de pastelería: marca NOVA.

En el secado de las cáscaras de mandarina hasta que alcancen peso constante, se utilizó un deshidratador eléctrico de aire caliente por convección a 70°C y una cámara de refrigeración no frost, a 10°C. Para determinar la humedad total se empleó la ecuaciones HT= (W-Ws)/Ws) Ec. (1), para la humedad de equilibrio (H*) y para la humedad libre HL=(HT-H*) Ec. (2).

La cinética del secado, que depende de la humedad del material y de la intensidad de evaporación en el tiempo, pero también de variables relacionadas con las dimensiones del equipo (Guamán, Carrera y Martínez, 2021), se determinó empleando la tasa de humedad MR=(Mt-Me) /(Mo-Me) Ec. (3), que está representada por Mt, Mo y Me correspondientes al contenido de humedad inicial, el contenido de humedad final y el contenido de humedad en el equilibrio. Estas ecuaciones fueron empleadas por Jeevarathinam *et al.* (2021) para representar las curvas de secado a diferentes temperaturas experimentales. La relación simplificada por ser Me un valor muy pequeño, se representa como MR= (Mt)/(Mo) Ec. (4) según Razola *et al.* (2023). El ajuste de las curvas se efectuó con un programa de Excel 2019 de Microsoft Office y la calidad del modelo se comprobó mediante el coeficiente de correlación (R2).

La difusividad efectiva, definida como la facilidad con la que se retira el agua de un material es un evento complejo, y su coeficiente se expresa en m^2s^{-1} (Huang *et al.*, 2021), por lo que la segunda ecuación de difusión de Fick se utilizó para calcular la difusividad efectiva, considerando una difusividad de humedad constante, de geometría de losa infinita y distribución de humedad inicial uniforme; la ecuación está en función del tiempo, de la mitad del espesor de la lámina plana, de la difusividad efectiva y de la tasa de humedad mediante la siguiente relación: MR= 8/π^2 exp (-π2 (Deff.t)/L^2) Ec. (5), mientras que el coeficiente de difusividad se calculó por el método de la pendiente de la gráfica m=(-π2 Deff/(4L^2)) Ec. (6), reportado por Salehi y Kashaninejad (2018).

La energía de activación, expresada en kJ.mol-1, se le conoce como la energía requerida para iniciar el proceso de deshidratación de las cáscaras de mandarina, se calcula por la ecuación de Arrhenius, Ln (Def)=Ln(Do) - Ea/R 1/Tabs Ec. (7). Al graficar el logaritmo natural de la Difusividad efectiva (Ln Def) respecto al recíproco de la temperatura absoluta (1/Tabs) se halló la pendiente de la recta que es igual a (-Ea/R), mientras que el valor de R fue igual a 8,3143 kJ/mol.

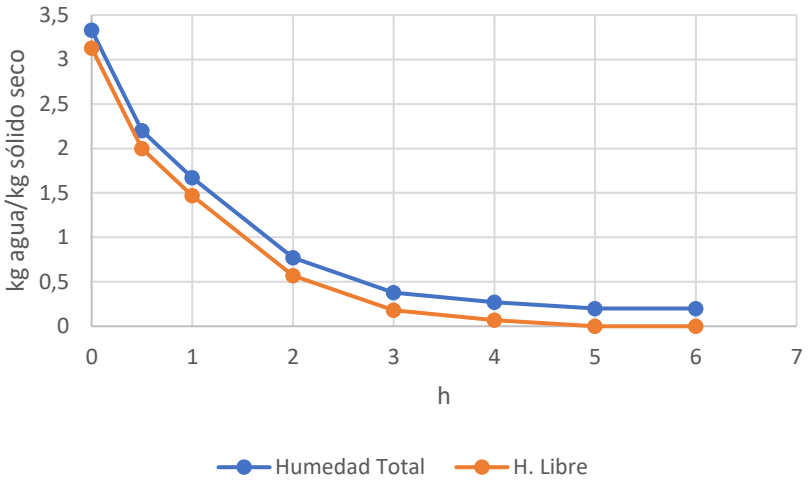
La evaluación sensorial se efectuó en base a los ítems de sabor y textura presentadas por las muestras de masa de empanada horneadas y adicionadas durante su producción con los diferentes porcentajes de cáscara de mandarina en polvo secadas a 70°C y 10°C, mediante una prueba de preferencia de nueve puntos y un panel entrenado de diez jueces, empleando una prueba hedónica; siendo los resultados evaluados estadísticamente mediante un ANOVA y la prueba de Duncan con un nivel de confianza del 95%, realizado en Excel 2019 de Microsoft Office.

3. Resultados

Inicialmente se determinó la humedad total y la humedad libre de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) secada a la temperatura de 70°C con los resultados que se exponen a continuación en la Figura 1.

Figura 1.

Humedad total y humedad libre de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) secada a 70°C

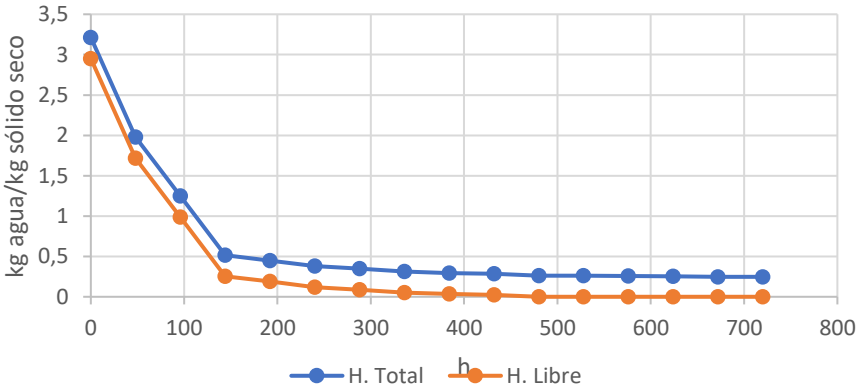


Fuente: Elaboración propia (2024).

También se determinó la humedad total y la humedad libre en las muestras de cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) secada a 10°C tal como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2.

Humedad total y humedad libre de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) secada a 10°C

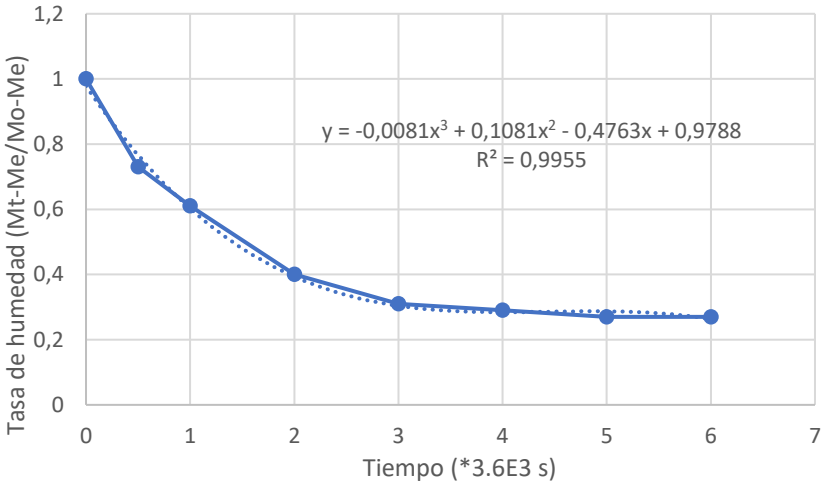


Fuente: Elaboración propia (2024).

Seguidamente se expone en la Figura 3 los resultados experimentales de la cinética de secado de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) a 70°C en el deshidratador de alimentos.

Figura 3.

Cinética de secado a 70°C de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) y coeficiente de correlación (R^2)

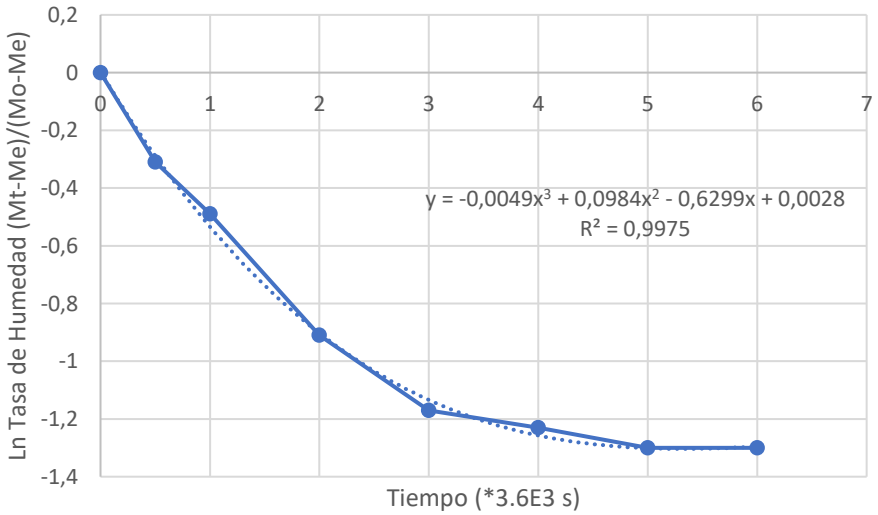


Fuente: Elaboración propia (2024).

Al expresar la tasa de humedad en logaritmos naturales respecto al tiempo se obtuvo la curva correspondiente a la Figura 4.

Figura 4.

Logaritmo natural de la tasa de humedad de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) secada a 70°C y coeficiente de correlación (R^2)

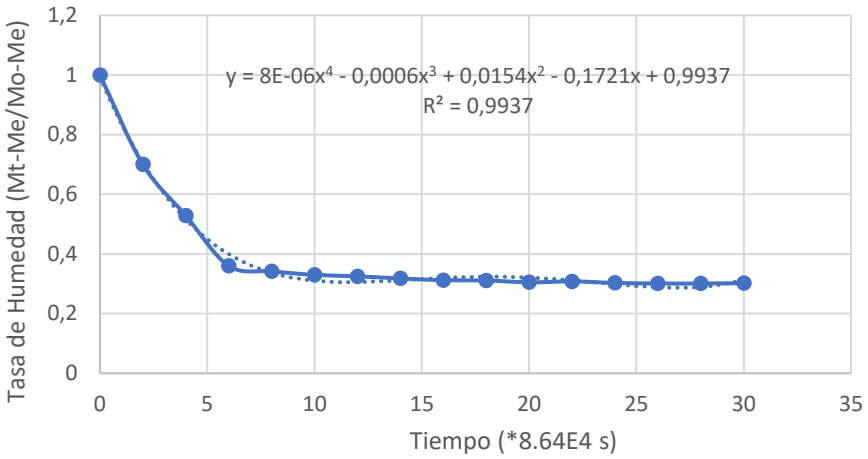


Fuente: Elaboración propia (2024).

Se determinó además la cinética de secado de la cáscara de mandarina a 10°C, la cual se expone en la Figura 5.

Figura 5.

Cinética de secado a 10°C de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) y coeficiente de correlación (R^2)

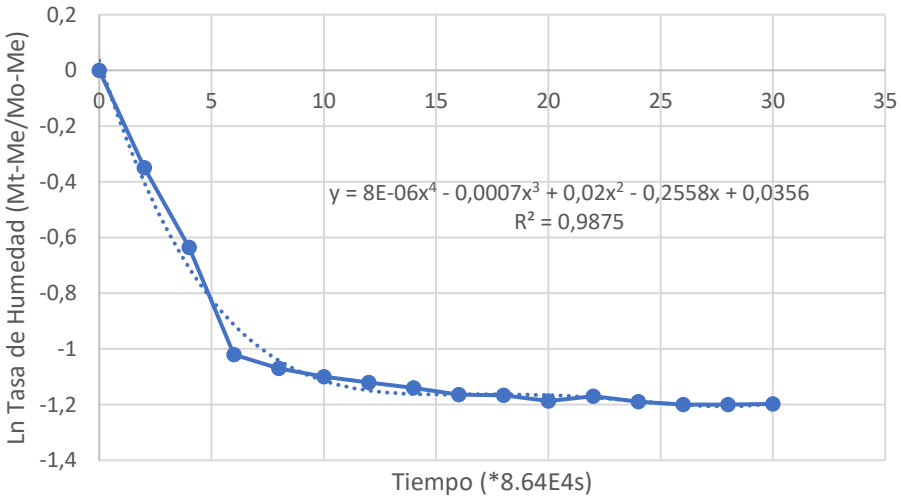


Fuente: Elaboración propia (2024).

Al graficar la tasa de humedad en logaritmos naturales respecto al tiempo se obtuvo la curva correspondiente a la Figura 6.

Figura 6.

Logaritmo natural de la tasa de humedad de la cáscara de mandarina (Citrus reticulata) secada a 10°C y coeficiente de correlación (R^2)



Fuente: Elaboración propia (2024).

Seguidamente se presentan los valores del coeficiente de difusividad efectiva determinados en la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) a las temperaturas experimentales ensayadas según se indica en la Tabla 1.

Tabla 1.

Coeficiente de difusividad efectiva durante el secado de cáscara de mandarina (Citrus reticulata)

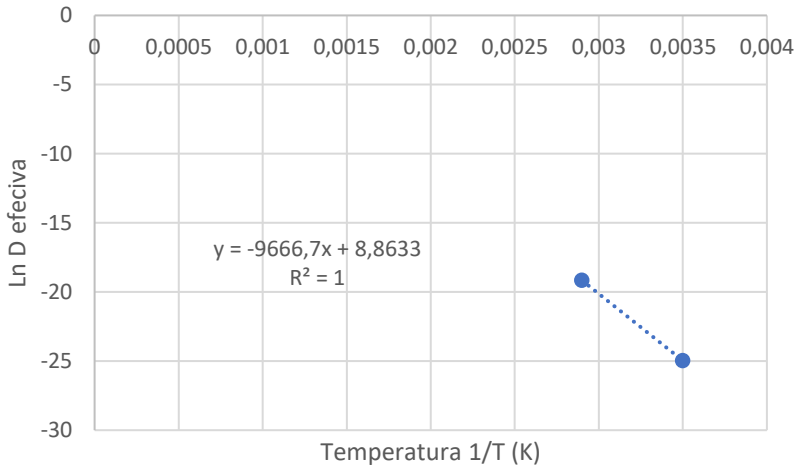
Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Coef. Dif. Efectiva (m2s-1)
70	5	4,72E-9
10	480	1,43E-10

Fuente: Elaboración propia (2024).

Al graficar el logaritmo natural del coeficiente de difusividad efectiva versus el inverso de la temperatura absoluta expresada en grados Kelvin se halló la pendiente de la recta (m) siendo la energía de activación de 79,40 kJ/mol.

Figura 7.

Logaritmo natural del coeficiente de difusividad efectiva versus el inverso de la temperatura absoluta (°K)



Fuente: Elaboración propia (2024).

Las cáscaras de mandarina deshidratadas a 70°C y a 10°C fueron molidas por separado y añadidas a las masas para empanada de horno en los porcentajes de 2,5%, 5%, 7,5% y 10%, empleando el flujo siguiente: pesado de ingredientes, amasado, enfriado, laminado y horneado.

Los ítems evaluados fueron sabor y textura en la masa para empanada horneada, mediante una prueba de análisis de varianza y prueba de Duncan correspondiente. El resultado del análisis sensorial llevado a cabo por los diez jueces entrenados en los ítems de sabor y textura se citan en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2.

Evaluación sensorial de la masa para empanada de horno

***Citrus reticulata* en polvo**	**Secada a 70°C**		**Secada a 10°C**	
Porcentaje	**Sabor**	**Textura**	**Sabor**	**Textura**
2,5	a^a	a^a	a^a	a^a
5	b^b	b^b	b^b	b^b
7,5	c^b	c^b	c^c	c^c
10	d^c	d^c	d^d	d^d

Fuente: Elaboración propia (2024).

Letras diferentes en la columna indican diferencia significativa (p = <0,05).

4. Discusión

En la preparación de la cáscara de mandarina en polvo para producir el condimento conocido como shichimi togarashi, las temperaturas de secado experimentadas por Calderón (2014) fueron de 60°C, 70°C y 80°C, por tiempos de secado de 6 horas y 40 minutos, 5 horas y 3 horas 20 minutos respectivamente, siendo la muestra preferida por los jueces la secada a 80°C durante 3 horas con 20 minutos; en la presente investigación se empleó la temperatura de 70°C en el secado de la cáscara de mandarina y requirió el proceso de 5 horas, lo que coincidió con lo hallado por Calderón (2014); a diferencia de Gutiérrez y Pascual (2016), quienes secaron la cáscara de mandarina a 60°C por un tiempo de 18 horas, lo que equivale a más de tres veces el tiempo total de secado empleando el deshidratador de alimentos, con posible pérdida de nutrientes como el ácido ascórbico (Guerrero y Motta, 2023), y el aroma de la cáscara en polvo.

Por tanto, es posible mejorar la calidad del producto final, especialmente si se desea preservar los constituyentes importantes que contiene la cáscara de mandarina y acortar el tiempo de secado, como lo obtenido por Bhardwaj *et al.* (2019), al utilizar un secador solar de convección forzada indirecta integrado con material de almacenamiento de calor sensible (SHSM) y material de cambio de fase (PCM) para secar valeriana jatamansi en 120 horas, a diferencia de las 216 horas sin el uso de almacenamiento térmico o de las 336 horas que se requiere en el secado tradicional a la sombra efectuado en la región oeste de los Himalaya. Además, las condiciones de temperatura (50°C, 60°C y 70°C) por tiempos de secado de 180, 120 y 60 minutos respectivamente, se ha probado también que tienen influencia en la calidad y cantidad de fluidos supercríticos obtenidos de hojas de olivo, respecto a la cinética de extracción, el rendimiento, la actividad antioxidante y los perfiles químicos de los extractos (Canabarro *et al.*, 2019).

Con los datos experimentales obtenidos durante el tiempo de secado a 70°C (Figura 1), se halló la humedad total contenida en la cáscara de mandarina expresada en kg de agua/kg de sólido seco, observándose que se volvió constante el peso de la muestra a las cinco horas de transcurrido el proceso de secado, manteniéndose el peso constante en 0,20 kg de agua/kg de sólido seco el cual correspondió a la humedad de equilibrio de la cáscara de mandarina secada a 70°C, además en la misma figura se observa que la humedad libre llegó a ser cero a las cinco horas. Por otro lado, a la temperatura de secado de 10°C (Figura 2) la humedad total de la cáscara de mandarina se hizo constante a las cuatrocientos ochenta horas de transcurrido el tiempo de secado, con un peso constante de 0,2612 kg de agua/kg de sólido seco, peso que representa la humedad de equilibrio de la cáscara de mandarina; por tanto, la humedad libre de cero kg de agua/kg de sólido seco determinó el tiempo final del proceso de secado.

Como se puede apreciar la humedad de equilibrio fue ligeramente menor en la muestra secada a mayor temperatura (70ºC) con respecto al material secado a 10ºC. En experimentos empleando secado con rayos infrarrojos combinados con ultrasonido en yaca, la humedad de equilibrio lograda fue relativamente pequeña (entre 0,14 y 0,23 gramos de agua/gramo de sólido seco), rango que corresponde a los resultados obtenidos en el secador de aire caliente a 70ºC y es ligeramente menor a los resultados empleando la cámara de no frost a 10ºC en el secado de la cáscara de mandarina (Wu *et al.*, 2021).

Se puede apreciar además según la Figura 3, que la tasa de humedad y el tiempo de secado poseen una relación no lineal polinómica de tercer grado y un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9955, con una mayor variación de la tasa de humedad en las tres primeras horas de secado a la temperatura de 70°C; mientras que al convertir la tasa de humedad de la cáscara de mandarina a logaritmos naturales el coeficiente de correlación fue de 0,9975 (Figura 4).

Por otro lado, durante el proceso de secado a 10°C la tasa de humedad y el tiempo de secado guardaron una relación no lineal polinómica de cuarto grado tal como se puede apreciar en la Figura 5 y el coeficiente de correlación (R^2) fue de 0,9937 observándose que la tasa de humedad fue mayor en los primeros seis días de secado, y al convertir la tasa de secado a logaritmos naturales el coeficiente de correlación (R^2) llegó a ser 0,9875, considerándose que el modelo concuerda mejor a 70°C por un valor ligeramente mayor de R^2 tal como reportaron otros investigadores para *Citrus reticulata* (Suri *et al*., 2022), mientras que Keneni *et al*. (2019) consideraron que valores de R2 mayores a 0,97 correspondían a modelos con buen ajuste a los datos experimentales. Además, un modelo polinómico es el que mejor describe el secado convectivo de la cáscara de mandarina tal como lo reportado en el secado de hierbabuena (Ayadi *et al.,* 2014).

En el proceso de secado de la cáscara de mandarina, el coeficiente de difusividad efectivo hallado varió de 1,430128E-10 m^2s^{-1} a 4,7256E-9 m^2s^{-1}, a las temperaturas experimentales de 10°C y 70°C respectivamente, valores comprendidos 0,8E-13 y 6,46E-9 m2s-1 son considerados adecuados para la mayoría de frutas y hortalizas según Aregbesola *et al.* (2015), lo cual también se pudo observar en el secado de Stevia cuyo coeficiente de difusividad efectivo fue establecido entre 5,07E-11 m^2s^{-1} y 3,14E-10 m^2s^{-1} a temperaturas de secado de 50°C y 80°C, y en orujo de naranja deshidratado a temperaturas entre 50°C y 70°C de 3,34E-10 m^2s^{-1} y 1,06E-9 m^2s^{-1} según Muntazima *et al.* (2021); cumpliéndose que el coeficiente de difusividad efectivo se incrementa con el uso de temperaturas mayores en el proceso de secado.

Por otro lado, la energía de activación requerida para el secado de la cáscara de mandarina fue de 79,4 kJ/mol, valor que se encuentra dentro del rango correspondiente a los alimentos según Hidar *et al.* (2020), pero superior al valor hallado en la deshidratación de tajadas de limón que fue reportada por Torki *et al.* (2016) de 60,08 kJ/mol.

De acuerdo con Cahyana *et al.* (2020), el sabor es uno de los atributos importantes si se evalúa la adición de cáscaras en polvo añadidas a masas de galletas mediante una escala hedónica con análisis estadístico de ANOVA y prueba de Duncan, y un nivel de significancia del 5%, tal como se planificó en la presente investigación, y que concuerdan con Wittig (2001), Julianti *et al.* (2017) y Das *et al.* (2019). En cuanto al ítem sabor, los jueces determinaron que al añadir la cáscara de mandarina en polvo secada a 70°C a la masa para empanada en porcentajes de 5% y 7,5%, éstas muestras fueron consideradas como las de mejor sabor y semejantes entre sí; con respecto a la adición de 2,5% de cáscara de mandarina en polvo se consideró diferente y de sabor poco perceptible a mandarina respecto a las demás, siendo el 10% significativamente diferente y menos aceptada sensorialmente (p<0,05).

Al evaluar el sabor de las muestras de masa para empanada adicionadas de cáscara de mandarina en polvo secada a 10°C, todas las medias de los tratamientos fueron diferentes entre sí, considerándose que el tratamiento con mejor sabor correspondió a la masa adicionada con 2,5% de cáscara de mandarina en polvo (p= <0,05).

Este resultado puede deberse a que el polvo de cáscara de mandarina secada a 70°C perdió aroma por el proceso de secado llevado a cabo en el deshidratador de alimentos, en los que se volatilizó muchos compuestos aromáticos propios de la muestra, los cuales se perciben de manera leve y se acoplan adecuadamente al sabor característico de la masa para empanadas de horno, influyendo también positivamente en el color de la masa. En cambio, en las muestras de masa con la cáscara de mandarina secada a 10°C, todas las medias de los tratamientos fueron diferentes (p<0,05), considerándose la mejor la que poseía 2,5%de cáscara de mandarina en polvo, lo cual posiblemente se debió a que en la cámara no frost a 10°C, las muestras de cáscara de mandarina no perdieron los compuestos volátiles que contiene en estado fresco, sino que se mantuvieron en el polvo obtenido.

Respecto a la evaluación de la textura, los jueces entrenados indicaron que la textura de la masa para empanada añadida con la cáscara de mandarina en polvo secada a 70°C y adicionadas con 5% y 7,5% fueron semejantes y consideradas como las mejores (p= <0,05), mientras que las muestras preparadas con la cáscara de mandarina en polvo deshidratada a 10°C fueron evaluadas sensorialmente respecto a la textura y los jueces entrenados indicaron diferencia estadística significativa entre todas las muestras añadidas con los diferentes porcentajes estudiados, siendo la mejor muestra la que contuvo 2,5% de cáscara de mandarina en polvo secada a 10°C (p= <0,05).

Este resultado sugeriría que se requiere menor porcentaje de cáscara de mandarina en polvo para tener muy buen sabor y textura en la masa de empanada, por lo que se debería hacer un análisis cuantitativo de los componentes de este material secado a 10ºC, ya que no se suele usar cámaras no frost y temperatura de 10ºC en el secado de alimentos, y por haberse conseguido un material muy aromático y de color intenso.

Los compuestos que contienen las cáscaras de mandarina tales como el ácido ascórbico, aldehídos, alcoholes, ésteres, monoterpenos y sesquiterpenos detectados por Babazadeh-Darjazi (2017), otorgan a la cáscara de mandarina características que influyen positivamente en el sabor y la textura de la masa para empanada, haciéndose evidente por la aceptación y muy buena valoración expresada por los jueces mediante el análisis sensorial de sabor y textura, en los porcentajes de cáscara de mandarina en polvo añadidos experimentalmente, lo cual permite la adición de este residuo bajo la forma de insumo, y son una opción para reducir las pérdidas que representan la falta de uso industrial de la cáscara de mandarina, y el desperdicio de nutrientes de los que son una fuente, sin dejar de considerar lo importante que es evitar la contaminación de los terrenos agrícolas, así como reducir los residuos producidos por las empresas que industrializan y comercializan esta fruta.

Por tanto, se confirma que la cáscara de mandarina en polvo es un material que puede ser usado como ingrediente para alimentos tal cual lo reportara Xu (2019), y que coincide con nuestros resultados, pero también son importantes las condiciones de procesamiento (secado y molienda) porque pueden influir en cambios nutricionales, y sensoriales (texturales y de sabor) como lo indicara Karam *et al.* 2016, abriéndose nuevos espacios de investigación y aplicación en este material.

5. Conclusiones

El tiempo de secado de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) a 70°C y empleando un deshidratador de alimentos fue de cinco horas, durante el cual la curva se volvió asintótica; mientras que empleando la cámara de secado no frost a 10°C, el tiempo de secado de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) fue de 480 horas, y la humedad libre llegó a cero en ambos casos.

La humedad de equilibrio fue de 0,20 kg de agua/kg de sólido seco con el deshidratador de alimentos, y de 0,2612 kg de agua/kg de sólido seco en la cámara no frost y el coeficiente de difusividad efectiva de la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata*) secada a 10°C fue de 1,430128E-10 m^2s^{-1} y a 70°C fue de 4,7256E-9 m^2s^{-1}, y la energía de activación fue de 79,40 kJ/mol.

Las muestras de masa de empanada adicionada con cáscara de mandarina secada a 70°C fueron de mejor sabor con 5% y 7,5% de cáscara de mandarina; y con la muestra deshidratada a 10°C, fue mejor la adicionada con 2,5% de cáscara de mandarina. En cuanto a la textura tuvo mejor valoración las muestras que contuvieron 5% y 7,5% de cáscara de mandarina en polvo secada a 70°C, y también la que contuvo 2,5% de cáscara de mandarina secada a 10°C.

Esta propuesta tecnológica no solo se traduce en un nuevo producto de consumo dadas sus cualidades nutricionales, sino que reduciría significativamente la contaminación por residuos de cítricos no aprovechados por la industria.

6. Referencias

Afrin, S. M., Acharjee, A. y Sit, N. (2021). Convective drying of orange pomace at different temperatures and characterization of the obtained powders. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 1040-1052. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05108-2

Aregbesola, O.A., Ogunsina, B.S., Sogfolahan, A.E. y Chime, N.N. (2015). Mathematical modeling of thin layer drying characteristics of dika (Irvingia gabonensis) nuts and kernels. *Nigerian Food Journal*, *33*(1), 83-89. https://doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.012

Arguero Aulestia, E. J. (2018). *Propiedades fisicoquímicas y estabilidad microbiológica de mermeladas de fresa formuladas con polvo de piel de mandarina empleado como ingrediente funcional y sostenible* [Tesis de Maestría]. Universitat Politècnica de València. http://hdl.handle.net/10251/107221

Ayadi, M., Mabrouk, S. B., Zouari, I. y Bellagi, A. (2014). Kinetic study of the convective drying of spearmint. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.04.004

Babazadeh Darjazi, B. (2017). Estudio sobre los componentes de la cáscara y la calidad del jugo de tres híbridos de mandarina (Citrus reticulata) en patrones de naranja agria cultivados en Ramsar, Irán. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, *16*(2), 110-120. http://www.blacpma.usach.cl/

Bejarano Martínez, C. (2018). *Evaluación del efecto del uso de un deshidratador solar pasivo indirecto de flujo turbulento y de un deshidratador solar pasivo en propiedades fisicoquímicas y organolépticas de mango, naranja y mandarina: estudio de caso de Tocaima Cundinamarca* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68688

Bhardwaj, A., Kumar, R. y Chauhan, R. (2019). Experimental investigation of the performance of a novel solar dryer for drying medicinal plants in western Himalayan region. *Solar Energy*, 177, 395-407. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.007

Blanco Ramos, M. M. (1837). *Flora de Filipinas*. Imprenta Santo Tomás.

Cahyana, Y., Rangkuti, A., Halimah, T., Marta, H. y Tri, Y. (2020). Application of heat-moisture-treated banana flour as composite material in hard biscuit. *Journal of Food*, *18*(1), 599-605. https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1805514

Calderón Piñeiros, E. (2014). *Utilización de cáscara de mandarina (Citrus reticulata) en la elaboración de Shichimi Togarashi y la evaluación sensorial de jueces* [Tesis de licenciatura]. Universidad San Francisco de Quito. https://core.ac.uk/reader/147371930

Canabarro, N., Mazutti, M. y Ferreira, M. (2019). Drying of olive (Olea europaea L.) leaves on a conveyor belt for supercritical extraction of bioactive compounds: Mathematical modeling of drying/extraction operations and analysis of extracts. *Industrial Crops and Products*, 136, 140-151. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.004

Cordova Hancco, Y. y Velasquez Huayhua, J. (2021). *Cinética de extracción por arrastre de vapor a escala piloto de la naranja, mandarina, lima y limón* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de San Agustín. https://hdl.handle.net/20.500.12773/12535

Das, P., Khan, J., Rahman, S., Majumder, S. y Islam, N. (2019). Comparison of the physico chemical and functional properties of mango kernel flour with based composite cakes. *NFS Journal*, 17, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.10.001

Díaz Chicaiza, M. P. (2019). *Extracción de colorantes de mango (Manguifera indica L.), mandarina (Citrus reticulata), piña (Ananas comosus), para el uso en la industria de alimentos* [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10571

Dogan, M., Sabaz, P., Bicil, Z., Kizilduman, B. y Turhan, Y. (2020). Activated carbon synthesis from tangerine peel and its use in hydrogen storage. *Journal of the Energy Institute*, *93*(6), 2176-2185. https://doi.org/10.1016/j.joei.2020.05.011

Federación Argentina de Citrus. (2018). *Actividad Citrícola Argentina Nº18*. https://acortar.link/kZyIv4

Gómez Torrente, M. (2015). *Análisis no dirigido del aceite esencial de las variedades de mandarino Clemenules y Clemenpons* [Tesis de grado]. Universitat Politècnica de València. https://acortar.link/MGEBeq

Gómez, R., Sendín, L., Ledesma, V., Romero, L. y Filippone, M. (2021). Mejoramiento genético de los cítricos: millones de años de evolución. *Revista agronómica del noroeste argentino*, *40*(2), 71-90. https://acortar.link/43i76n

Guamán, D., Carrera, G. y Martínez, A. (2021). Drying kinetics of Oca (Oxalis tuberosa). *The Ecuadorian Journal of STEAM*, *1*(5), 1322-1333. https://knepublishing.com/index.php/espoch/article/view/9573/15991

Guerrero Alva, D. M. y Motta Guerrero, R. (2023). Cinética de secado de ají jalapeño (Capsicum annuum L.) encurtido. *HUMAN REVIEW*, 1-12. https://doi.org/10.37467/revhuman.v18.4867

Gutierrez La Torre, E. y Pascual, G. (2016). Caracterización de cáscara de mandarina (Citrus reticulata) en polvo e inclusión en una formulación panaria. *Agronomía Colombiana*, 1, 85-88. http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.57938

Hidar, N., Ouhammou, M., Mghazli, S., Idlimam, A., Hajjaj, A., Bouchdoug, M., Jaouad, A. y Mahrouz, M. (2020). The impact of solar convective drying on kinetics, bioactive compounds and microstructure of stevia leaves. *Renewable Energy*, 161, 1176-1183. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.124

Huang, X., Li, W., Wang, Y. y Wan, F. (2021). Drying characteristics and quality of Stevia rebaudiana leaves by far-infrared radiation. *LWT*, 140, 110638. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110638

Ibarra Bodero, E. (2021). *Efecto del uso de diferentes estabilizantes y de mandarina (Citrus reticulata) de tres variedades, sobre las características físico químicas y sensoriales de una jalea* [Tesis de grado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Jeevarathinam, G., Pandiselvam, R., Pandiarajan, T., Preetha, P., Balakrishnan, M., Thirupathy, V. y Kothakota, A. (2021). Infrared assisted hot air dryer for turmeric slices: Effect on drying rate and quality parameters. *LWT, Food Science and Technology Elsevier*, 144, 111258. https://acortar.link/xuq4X8

Juárez Ojeda, C. (2021). *Una revisión de la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de cítricos procesados: fermentación en estado sólido y métodos de extracción* [Tesis de grado]. Universidad de la Frontera. https://repositorio.unf.edu.pe/handle/UNF/63

Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah y Yusraini, E. (2017). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Science*, 16, 171-177. https://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005

Karam, M., Petit, J., Zimmer, D. y Djane, E. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders; A review. *J. of Food Engineering*, 188, 32-49. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001

Keneni, Y.G., Hvoslef-Eide, A.K. y Marchetti, J.M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of Jatropa curcas L. seeds. *Industrial Crops & Products*, 132, 12-20. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.012

Martínez, O., Román, M., Gutiérrez, E., Medina, G., Cadavid, M. y Flórez, O. (2008). Desarrollo y evaluación de un postre lácteo con fibra de naranja. *Vitae*, *15*(2), 219-225. https://acortar.link/aiC3PN

Ministerio de Desarrollo Agrario. (2021). *Producción nacional de mandarinas alcanzó las 525 000 toneladas en 2020*. https://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-mandarinas-alcanzo-las-525-000-toneladas-23917

Ordoñez Santos, L., Esparza Estrada, J. y Vanegas Mahecha, P. (2020). Potencial agroindustrial del epicarpio de mandarina como alternativa de colorante natural en pan. *TecnoLógicas*, *23*(48), 17-29. https://doi.org/10.22430/22565337.1465

Razola Diaz, M., Verardo, V., Gómez Caravaca, A., García Villanova, B., y Guerra Hernández, E. (2023). Mathematical modelling of Convective drying of orange by-Products and its influence on Phenolic Compounds and Ascorbic Acid content, and its Antioxidant Activity. *Foods*, 12, 1-17. https://doi.org/10.3390/foods12030500

Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española* (232ª ed.).

Rincón, A., Vasquez, A., Padilla, M. y Fanny, C. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscara de naranja (Citrus sinensis), mandarina (Citrus reticulata), y toronja (Citrus paradisi) cultivadas en Venezuela. *ALAN*, *55*(3), 305-310. https://acortar.link/meEXv2

Romero Bayona, L. (2022). *Efecto del grado de madurez del fruto (cáscara) de mandarina (Citrus reticulata) sobre el contenido de compuestos fenólicos: análisis cienciométrico, aproximación experimental y factibilidad económica* [Tesis de grado]. Universidad Santo Tomás. https://hdl.handle.net/11634/42667

Sáez García, R. (2017). *Caracterización de polvos de piel de mandarina para su uso como ingrediente funcional en alimentos* [Tesis de maestría]. Universitat Politècnica de València. https://acortar.link/3iOOQK

Salehi, F. y Kashaninejad, M. (2018). Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. *Information Processing in Agriculture*, 5, 516-523. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.006

Serpil, S. y Servet Gulum S. (2009). *Propiedades físicas de los alimentos*. Editorial Acribia. https://acortar.link/zdNaJg

Suri, S., Singh, A. y Nema, P. (2022). Infrared drying of kinnow (Citrus reticulata) peel waste: kinetics and quality characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 6, 7579-7590. http://dx.doi.org/10.1007/s13399-022-02844-z

Tejeda, L., Marimón, W. y Medina, M. (2014). Evaluación del potencial de las cáscaras de frutas en la obtención de bioetanol. *Hechos microbiológicos*, *5*(1), 4-9. https://doi.org/10.17533/udea.hm.323244

Torki Harchegani, M., Ghasemi Varnamkhasti, K., Ghanbarian, D., Sadeghi, M. y Tohidi, M. (2016). Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. *Heat and Mass Transfer*, 52, 281-289. http://dx.doi.org/10.1007/s00231-015-1546-y

Wittig de Penna, E. (2001). *Evaluación sensorial*. Editorial de la Universidad de Santiago de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121431

Wu, B., Guo, X., Guo, Y., Ma, H. y Zhou, C. (2021). Enhancing jackfruit infrared drying by combining ultrasound treatments: Effect on drying characteristics, quality properties and microstructure. *Food Chemistry*, 358, 129845. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129845

Xu, M., Tian, G., Zhao, C., Ahmad, A., Zhang, H., Bi, J., Xiao, H. y Zhelnfrared, J. (2019). Drying as a Quick preparation method for dried Tangerine peel. *Food Chemistry*, 289. https://doi.org/10.1155/2017/6254793

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: Guerrero Alva, Dániza Mirtha; **Software**: Motta Guerrero, Renato **Validación**: Guerrero Alva, Dániza Mirtha; **Análisis formal:** Motta Guerrero, Renato; **Curación de datos:** Motta Guerrero, Renato; **Redacción-Preparación del borrador original:** Guerrero Alva, Dániza; **Redacción-Revisión y Edición**: Guerrero Alva, Dániza, **Visualización**: Motta Guerrero, Renato; **Supervisión**: Guerrero Alva, Dániza Mirtha; **Administración de proyectos:** Guerrero Alva, Dániza Mirtha
Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito: Guerrero Alva, Dániza; Motta Guerrero, Renato.

Financiación: Esta investigación recibió financiamiento del fondo de investigación que administra la UNAC.

Agradecimientos: El presente texto nace en el marco de los proyectos de investigación en el área de tecnología de alimentos y la reducción de pérdidas posteriores a la cosecha.

Conflicto de intereses: no existe conflicto de intereses.

AUTORES:

Dániza Mirtha Guerrero Alva
Universidad Nacional del Callao, Perú.

Titulada como Ingeniero de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria-La Molina de Lima, Perú; con formación a nivel de post grado en biotecnología alimentaria e Ingeniería ambiental. Docente de pregrado y postgrado e investigadora.
dmguerreroa@unac.edu.pe

Renato Motta Guerrero
Universidad Ricardo Palma, Perú.

Técnico en informática de IDAT (Lima, Perú), con formación en matemáticas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y en Ingeniería Informática en la Universidad Ricardo Palma. Investigador junior.
renato.motta@urp.edu.pe

Orcid ID: https://orcid.org/0009-0009-8503-1829