

MODELACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO CONVECTIVO DE *CHIPS* DE COCO PRETRATADAS CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Claudia Ramírez-Alfonso^{1}, Daniela Cabrera-Roque¹, Pablo Antonio Pérez-Aldana¹*

¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. La Habana, CP 17100, Cuba.

E-mail: claudia@iiaa.edu.cu

Recibido: 22-02-2025 / Revisado: 05-03-2025 / Aceptado: 01-05-2025 / Publicado: 30-08-2025

RESUMEN

El objetivo de esta investigación estuvo en evaluar la cinética del secado e indicadores de calidad de los *chips* de coco (*Cocos nucifera* L.) secadas por osmoconvección. El coco es rico en potasio, proteínas y ácidos grasos, especialmente ácidos grasos saturados de cadena media. El secado osmoconvectivo de los *chips* de coco a 50, 60 y 70°C requirió de 80, 75 y 60 min, respectivamente, para reducir el contenido de humedad desde 30,09 % m/m después de realizada la ósmosis hasta 5 % m/m. El coco fresco contaba con una humedad inicial de 46,28 % m/m, la cual disminuyó en un 16 % m/m luego de la deshidratación osmótica. El modelo más adecuado para representar la cinética de la relación de humedad de los *chips* de coco correspondió al de Midilli modificado. La difusividad efectiva del agua fue de $6,48 \times 10^{-10}$, $8,11 \times 10^{-10}$ y $9,73 \times 10^{-10}$ m²/s, para 50, 60 y 70°C, respectivamente, en el secado convectivo. Las

diferencias con otras investigaciones similares pueden estar dadas por el tipo de transferencia de energía, los parámetros operacionales del secado, la especie utilizada, semiespesor de la muestra y que, a altas temperaturas de secado, debido a la rápida velocidad de evaporación, es posible obtener valores de difusividad efectiva más altos. La energía de activación del proceso de secado fue de 18,74 kJ/mol, lo que está en el rango para los productos alimenticios. Los parámetros colorimétricos se afectaron con el aumento de la temperatura de secado y se evidencia que se producen reacciones de pardeamiento no enzimático durante el secado. Las muestras deshidratadas a 50°C fueron las de mayores defectos en la apariencia y textura. Se escogió la muestra a 60°C, como la más aceptada teniendo en cuenta su calidad organoléptica.

Palabras clave: coco, *Cocos nucifera*, *chips*, secado osmoconvectivo, cinética.

ABSTRACT

Modeling the convective drying kinetics of coconut chips pretreated with osmotic dehydration.

The aim of this research was to evaluate the kinetics of drying and quality indicators of coconut chips (*Cocos nucifera* L.) dried by osmoconvection. Coconut is rich in potassium, protein and fatty acids, especially medium chain saturated fatty acids. Osmoconvective drying of the coconut chips at 50, 60 and 70°C required 80, 75 and 60 min, respectively, to reduce the moisture content from 30.09% m/m after osmosis to 5% m/m.

Fresh coconut had an initial humidity of 46.28% m/m, which decreased by 16% m/m after osmotic dehydration. The most suitable model to represent the kinetics of the moisture ratio of the coconut chips corresponded to that of modified Midilli. Effective diffusivity of the water was $6,48 \times 10^{-10}$, $8,11 \times 10^{-10}$ and $9,73 \times 10^{-10}$ m²/s, for 50, 60 and 70°C, respectively, in the convective drying. The differences with other similar investigations can be given by the type of energy transfer, the operational parameters of the drying, the species used, semi-thickness of the sample and that, at high drying temperatures, due to the fast evaporation rate, it is possible to obtain higher effective diffusivity values. The activation energy of the drying process was 18.74 kJ/mol, which is in the range for food products. The colorimetric parameters were affected with the increase of the drying temperature and it is evident that non-enzymatic browning reactions occur during drying. Samples dehydrated at 50°C were those with the greatest defects in appearance and texture. The sample was chosen at 60°C, as the most accepted taking into account its organoleptic quality.

Keywords: coconut, *Cocos nucifera*, chips, osmoconvective drying, kinetics

INTRODUCCIÓN

El cocotero (*Cocos nucifera* L.) es un árbol cultivado por sus múltiples usos y que se destaca por su valor nutricional y medicinal. Es común en las costas de América, aunque es la palmera más cultivada a nivel mundial. El fruto está compuesto por agua, aceite y copra o pulpa seca del coco, las que además de su alto contenido en nutrientes y microminerales esenciales para la salud, poseen características antioxidantes, antiinflamatorias, antibacteriales e inmunoestimulantes (1,2). El coco posee un uso universal, todos los componentes del fruto son útiles como alimento, cosmético y productos farmacéuticos. En el mundo gastronómico, el coco es muy versátil, pues no solo se limita al uso de la pulpa, sino también todos sus derivados como agua, leche, azúcar, harina y aceite (3).

Este alimento, rico en potasio, es un excelente regulador del colesterol, ayuda a prevenir enfermedades reumáticas o artríticas. Su alto contenido en fibra favorece el tránsito intestinal, regula la presión arterial y ayuda notablemente a la circulación. Es aconsejable para mejorar y controlar la glucemia en personas con diabetes (4).

A escala mundial existen muchos países productores de coco, donde se destacan países como Indonesia, Filipinas y la India, debido a las condiciones de clima y humedad. Asia es la región de mayor producción, con poco más del 90 % (5).

En Cuba, esta especie se ha dispersado por todo el país, aunque las mayores áreas del cultivo se han localizado fundamentalmente en la región Oriental. El municipio Baracoa (Guantánamo) atesora el mayor volumen de la producción nacional, destinado fundamentalmente a la elaboración del aceite (6). El mejoramiento y desarrollo de nuevas tecnologías en la industria alimentaria ha permitido obtener alimentos más accesibles y seguros para el consumo humano, principalmente en productos altamente perecederos como frutas y vegetales. La deshidratación es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos.

En la actualidad, existe un nicho de mercado interesado en consumir frutas y vegetales deshidratados, que preferentemente son utilizados como materia prima para elaborar otros productos alimenticios (7). El objetivo principal de esta tecnología es reducir el contenido de humedad de los alimentos, disminuyendo su actividad enzimática y minimizando el deterioro microbiano y las reacciones de deterioro químico. Su importancia radica en que proporciona una mayor vida útil, un peso más ligero para el transporte y menor espacio para su almacenamiento (8).

El secado por convección es un método de secado eficiente que permite conservar los nutrientes de los alimentos; por tanto, es una de las formas más directas de mejorar la higiene y la seguridad de los mismos (9). El coco deshidratado es un producto con grandes privilegios para el organismo, gracias al proceso de secado, en el que aumenta de manera considerable la concentración de fibra, minerales o vitaminas.

En la industria alimentaria resulta necesario construir modelos matemáticos que expliquen los fenómenos de transferencia de masa que ocurren durante el secado, mediante ecuaciones que permitan el control de técnicas productivas. Su uso permite describir, predecir y optimizar el proceso de secado mediante la evaluación del efecto de los parámetros sobre las condiciones finales del proceso. Estos modelos tienen su base en la segunda ley de Fick (10).

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la influencia del pretratamiento de deshidratación osmótica sobre la cinética de secado convectivo de chips de coco, mediante el uso de modelos matemáticos, determinando la influencia de la temperatura de secado en los indicadores físicos, químicos y sensoriales de chips de coco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los cocos (*Cocos nucifera* L.) fueron suministrados por la Cooperativa de Créditos y Servicio Fortalecida Roberto Negrín, de La Lisa, en La Habana. Se caracterizó el coco fresco mediante el contenido de sólidos solubles, humedad y

la medición del color con un espectrofotómetro modelo UV-2600 UV-Visible (Shimadzu Corp., Kyoto, Japón).

Se utilizaron tres cocos por cada corrida que fueron lavados, pelados y cortados en rodajas de 2 mm de grosor en una picadora SAMMIC S.L, modelo 20720 (Azkoitia, España). Las rodajas lavadas se sometieron a escaldado por inmersión durante 2 minutos en un rango de temperatura de 90 a 95°C para lograr un producto final con una textura más crujiente y una apariencia agradable mediante inactivación enzimática (11,12,13). Las muestras blanqueadas se deshidrataron osmóticamente con soluciones de sacarosa manteniendo una concentración de 50 a 53 °Brix para garantizar *chips* con el dulzor y los parámetros de textura deseados. Durante el proceso de deshidratación osmótica, las rodajas se sumergieron en la solución osmótica durante 1 hora con una temperatura constante de 40°C mantenida por un baño de agua con agitador rotatorio (Rivotek TC 344, Rivera, India). Las muestras se retiraron de la solución y se secaron suavemente con papel de seda para eliminar el exceso de solución de la superficie, para determinar las variaciones en la pérdida de agua y la ganancia de soluto con el tiempo (13).

Las muestras fueron sometidas a secado en una estufa de laboratorio Venticell (Alemania). Las rodajas de coco (60 g) fueron colocadas uniformemente sobre un tamiz. El proceso de secado se realizó a tres temperaturas: 50, 60 y 70°C (14). La pérdida de peso fue medida, a 70°C cada 5 min, a 60°C cada 10 min y a 50°C cada 15 min, con una balanza electrónica Digi (Japón), modelo DS-673SS, hasta alcanzar la humedad deseada por registro del peso final de las rodajas de coco, con el objetivo de obtener más puntos durante el secado. El secado se mantuvo hasta que las rodajas presentaron un contenido de humedad cercano a 5 % m/m.

Se emplearon ocho modelos, usados generalmente para representar la cinética de secado (15,16,17,18,19), los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelos usados para la cinética

Modelo	Ecuación	No.
Henderson y Pabis	$RH = a \cdot e^{-kt}$	2
Lewis	$RH = e^{-kt}$	3
Midilli	$RH = e^{-kt^n} + bt$	4
Midilli modificado	$RH = \exp(-kt) + b * t$	5
Page	$RH = e^{-kt^n}$	6
Parabólico	$RH = a + bt + ct^2$	7
Logarítmico	$RH = a \exp(-kt) + c$	8
Dos términos	$RH = a \exp(k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$	9

RH: relación de humedad; t: tiempo (min); k, k₂, a, n, b y c: parámetros del modelo.

El coeficiente de determinación (R^2) (ecuación 1), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) (ecuación 2) y error estándar de la regresión (SE por sus siglas en inglés) (ecuación 3) fueron calculados mediante el programa SPSS ver. 25 (SPSS Inc., Chicago, EE. UU.)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RH_{exp,i} - RH_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RH_{exp,i} - RH_{prom})^2} \quad (\text{ec. 1})$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RH_{exp,i} - RH_{pred,i})^2 N - 1}{\sum_{i=1}^N (RH_{exp,i} - RH_{prom})^2 N - p} \quad (\text{ec. 2})$$

$$SE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N (RH_{exp,i} - RH_{pred,i})^2}{N - p} \right)} \quad (\text{ec. 3})$$

Donde $RH_{exp,i}$ y $RH_{pred,i}$: valores experimental y predicho de la relación de humedad, RH_{prom} : valor promedio de la relación de humedad, N : número de observaciones, p : número de parámetros en el modelo.

La difusividad efectiva del agua (D_{eff}) se determinó a través del modelo de difusión de la segunda ecuación de Fick (ecuación 4), que resulta apropiada para fenómenos difusivos durante la transferencia de masa del producto hasta alcanzar el equilibrio (20,21). Con esta finalidad, se asumió que los *chips* de coco se asemejan a una lámina infinita, que la transferencia de masa es unidimensional y los tiempos de secado son largos (22).

$$RH = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{4L^2}} \quad (\text{ec. 4})$$

Donde RH : relación de humedad, D_{eff} : difusividad efectiva del agua (m^2/s), t : tiempo (s) y L : semiespesor de la muestra (m).

La ec. 6 puede expresarse en forma logarítmica (ecuación 5) y para períodos largos de secado ($RH < 0,6$), puede calcularse la D_{eff} a partir de la pendiente del gráfico de $\ln RH$ vs. tiempo de secado.

$$\ln RH = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \right) t \quad (\text{ec. 5})$$

Donde RH : relación de humedad, D_{eff} : difusividad efectiva del agua (m^2/s), t : tiempo (s) y L : semiespesor de la muestra (m).

La temperatura de secado influye sobre la difusividad efectiva del agua en los alimentos. Normalmente, continúa una tendencia tipo Arrhenius que puede ser representada según la ecuación 6.

Al graficar $\ln D_{eff}$ vs. $1/T$ se obtuvo una línea recta de cuya pendiente se calculó la E_a y del intercepto se obtuvo el factor de Arrhenius (D_o).

$$D_{eff} = D_o e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde D_o : factor preexponencial de la ecuación de Arrhenius (m^2/s), E_a : energía de activación (kJ/mol), R : constante del gas ideal (kJ/mol K) y T : temperatura (K).

El coco deshidratado fue caracterizado mediante determinaciones físicoquímicas (humedad y medición de color) y sensoriales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las determinaciones realizadas al coco fresco para su caracterización.

Tabla 2. Características del coco fresco

Característica	Fruta fresca
Humedad (% m/m)	46,28 (0,79)
L*	72,71 (1,2)
a*	-0,64 (0,06)
b*	0,69 (0,11)

Valores correspondientes al promedio de las muestras y entre paréntesis la desviación estándar.

Según la búsqueda bibliográfica, varios autores realizaron estudios con la especie *Cocos nucifera* L. y reportaron valores de humedad de 58,2; 49,8; 51,3 % m/m (12, 23,24). Sin declarar especie se encuentran otros trabajos que reportaron contenidos de humedad mayores con 70,6 y 75,2 % m/m (13, 25). Estas diferencias entre los valores de humedad incluso de la misma especie pueden estar dadas al tipo de variedad, estado de madurez y condiciones agroclimáticas.

Las curvas experimentales de secado muestran las tres temperaturas ensayadas (Fig. 3). Se necesitaron 80, 75 y 60 min a 50, 60 y 70°C, respectivamente, para reducir el contenido de humedad desde 30,09 % m/m después de realizada la ósmosis hasta 5 % m/m. Se puede observar que el coco fresco contaba con una humedad inicial de 46,28 % m/m, la cual disminuyó en un 16 % m/m luego de realizar la deshidratación osmótica. El pretratamiento mejora significativamente la tasa de transferencia de masa de agua durante el secado convectivo (26). Curvas similares y mayores tiempos fueron informados con el secado osmoconvectivo de

coco (13), así como en el secado por radiación (1). Las diferencias con respecto a los tiempos de secado pueden deberse al semiespesor de la muestra, el tipo de transferencia de energía y la especie utilizada.

La temperatura tuvo un efecto significativo en el secado. El tiempo de secado más corto se obtuvo con la temperatura más alta. Como es esperado, la disminución de la relación de humedad al inicio del proceso de secado es rápida y luego este proceso se da lentamente según se acerca el producto a su contenido de humedad de equilibrio (1). Comportamientos similares con el secado de coco fueron reportados en trabajos anteriores (13, 26, 27,28).

Se utilizaron un total de 8 modelos de secado de capa fina (Henderson y Pabis, Lewis, Midilli, Midilli modificado, Page, parabólico, logarítmico y dos términos) para describir el comportamiento de secado de los chips de coco durante el secado por convección pretratadas con deshidratación osmótica. Los parámetros del modelo y los resultados estadísticos (R_2 , R_{2adj} y SE) se presentan en la Tabla 3.

En el modelo de Midilli modificado el parámetro b mostró, disminución al incrementarse la temperatura. El parámetro c del modelo Page se incrementó con el aumento de la temperatura. Mientras que el parámetro a del modelo logarítmico disminuye con el aumento de la temperatura, y aumenta en el modelo dos términos. El parámetro b de los modelos logarítmico y dos términos disminuyeron con el aumento de la temperatura.

Las variaciones de los parámetros a , b y c se deben más a ajustes matemáticos que relacionado con algún fenómeno de secado, pues estos modelos son semiempíricos pero correlacionables con propiedades termo físicas del material bajo diferentes temperaturas (16). Por otro lado, el parámetro k del modelo logarítmico aumenta con la temperatura, mientras que en los otros modelos este parámetro tuvo variaciones con el incremento de la temperatura. El parámetro

k representa el efecto de las condiciones de secado externas (29,30). De acuerdo con estos criterios se eligió el modelo de

Midilli modificado como el más ajustado para modelar la cinética del secado.

Tabla 3. Modelación matemática de la cinética del secado convectivo de chips de coco

1. T (°C)	Modelo	a	$n o c$	b	k	k_2	R^2	R^2_{adj}	SE
50	H y P	0,001	-	-	-0,020	-	0,993	0,992	0,054
	Lewis	-	-	-	-0,020	-	0,990	0,987	0,001
	Midilli	0,744	-	-0,002	-0,037	-	0,992	0,990	0,121
	Midilli (mod)	-	-	0,000	-0,019	-	0,990	0,988	0,002
	Page	-	0,978	-	-0,022	-	0,990	0,988	0,050
	Parabólico	0,980	$8,521 \times 10^{-5}$	-0,017	-	-	0,989	0,982	0,039
	Logarítmico	1,025	-0,037	-	-0,018	-	0,990	0,988	0,100
	Dos términos	0,599	-	0,393	-0,020	-0,020	0,990	0,988	0,045
60	H y P	0,106	-	-	-0,029	-	0,961	0,954	0,166
	Lewis	-	-	-	-0,024	-	0,987	0,984	0,001
	Midilli	0,580	-	-0,006	-0,053	-	0,999	0,999	0,057
	Midilli (mod)	-	-	-0,001	-0,020	-	0,993	0,992	0,001
	Page	-	1,072	-	-0,019	-	0,988	0,986	0,050
	Parabólico	0,967	$8,341 \times 10^{-5}$	-0,018	-	-	0,993	0,989	0,032
	Logarítmico	0,953	-0,981	-	1,000	-	0,994	0,993	0,108
	Dos términos	0,865	-	0,135	-0,024	-0,024	0,987	0,984	0,045
70	H y P	0,084	-	-	-0,040	-	0,984	0,981	0,109
	Lewis	-	-	-	-0,035	-	0,994	0,993	0,001
	Midilli	0,962	-	-0,001	-0,035	-	0,997	0,997	0,081
	Midilli (mod)	-	-	-0,001	-0,032	-	0,997	0,997	0,001
	Page	-	1,073	-	-0,028	-	0,996	0,995	0,024
	Parabólico	0,976	0,000	-0,027	-	-	0,996	0,994	0,023
	Logarítmico	0,862	-0,958	-	1,000	-	0,997	0,997	0,033
	Dos términos	1,006	-	-0,011	-0,032	0,029	0,997	0,997	0,020

T: Temperatura. H y P: Henderson y Pabis, Midilli (mod): Midilli modificado. a , b , c , k , n y k_2 son parámetros de los modelos. R^2 : coeficiente de determinación, R^2_{adj} : coeficiente de determinación ajustado, SE: error estándar de la regresión. -: parámetro no existente en el modelo.

La difusividad efectiva del agua (D_{eff}) de las rodajas de coco fue de $6,48 \times 10^{-10}$, $8,11 \times 10^{-10}$ y $9,73 \times 10^{-10}$ m²/s, para 50, 60 y 70°C, respectivamente, en el secado por convección.

La D_{eff} del secado por osmoconvectivo de las rodajas de coco calculada en esta tesis fue mayor que la de otros resultados (13, 26, 27, 28). Estas variaciones pueden atribuirse a factores como el mecanismo de transferencia de energía, las condiciones operativas del secado, la especie vegetal empleada y el espesor de la muestra. Además, a temperaturas elevadas, la rápida evaporación superficial puede generar un incremento en los valores de difusividad efectiva (22).

La dependencia de la difusividad efectiva del agua con la temperatura de secado también fue descrita por la ecuación de Arrhenius, de donde se determinó un valor de energía de activación de 18,74 kJ/mol. La energía de activación en alimentos está en el rango de 13 a 110 kJ/mol (31).

El valor calculado en este estudio, comparado con otros valores reportados en el secado osmoconvectivo de coco es menor (27) con una energía de activación igual a 81,1 kJ/mol y de 44,7 kJ/mol (25). Se destaca que, la energía de activación en este trabajo también, fue menor que el valor informado de 60,7 kJ/mol para el secado por radiación de coco (1).

Esto es una indicación de que se requiere menos energía para el secado que en los trabajos antes citados. Las diferencias observadas pueden ser atribuidas a la forma de transferencia de energía, el grosor de la muestra y la especie usada.

La Tabla 4 presenta los análisis al coco deshidratado obtenido a las tres temperaturas. De acuerdo con los resultados de los análisis a las tiras deshidratadas obtenidas a las tres temperaturas, se aprecia que las humedades no tuvieron diferencias significativas entre ellas a cada temperatura.

Tabla 4. Características de las tiras de coco deshidratadas a tres temperaturas

Característica	50°C	60°C	70°C
Humedad (% m/m)	5,23 (0,06) ^a	5,15 (0,06) ^a	4,56 (0,05) ^a
RH	0,53 (0,29) ^a	0,53 (0,30) ^a	0,52 (0,30) ^a
L*	64,59 (0,47) ^b	59,79 (0,74) ^a	59,47 (2,19) ^a
a*	-0,79 (0,04) ^a	-0,88 (0,04) ^b	-0,92 (0,02) ^b
b*	3,29 (0,15) ^a	3,31 (1,21) ^a	3,68 (0,05) ^b
ΔE	14,90(0,61) ^b	19,84 (0,78) ^b	22,26 (0,35) ^b
Croma	3,40 (0,55) ^a	3,40(0,69) ^a	3,79 (0,44) ^b
Matiz	103,52 (0,3) ^a	104,88 (0,10) ^a	104,04 (0,33) ^a

Desviación estándar entre paréntesis, RH: relación de Hausner, L*: luminosidad, a*: rojez, b*: amarillez, ΔE : diferencia total de color. Letras distintas dentro de una misma fila indican diferencia significativa para $p \leq 0,05$.

Los parámetros colorimétricos de las tiras de coco deshidratadas fueron influenciados por la temperatura de secado (Tabla 4). La disminución del parámetro L* indica que el producto se vuelve menos luminoso a temperaturas de secado más altas. La mayor blancura se obtiene a 50°C,

mientras que 70°C produce el producto más oscuro dentro del rango estudiado. Los valores de a* son negativos en todos los casos, significando que el color se desplaza ligeramente hacia el verde en el eje rojo-verde. Aunque el cambio no es drástico, sugiere que las temperaturas de secado más altas se

intensifican sutilmente. Los valores de b^* son positivos, indicando un desplazamiento del color hacia el amarillo en el eje amarillo-azul. Esto es una tendencia común en productos alimenticios sometidos a tratamiento térmico. El aumento del tono amarillo sugiere que las reacciones de pardeamiento se están produciendo en mayor medida a temperaturas más altas. Por lo que la combinación de la disminución de L^* y el aumento de los valores positivos de b^* (amarillamiento), junto con el ligero aumento del matiz verde (a^* más negativo), es una clara indicación de que se están produciendo reacciones de pardeamiento no enzimático (probablemente Maillard y/o caramelización) durante el secado. Estas reacciones son aceleradas por el calor. A 70°C , estas reacciones parecen ser más intensas, resultando en un producto más oscuro y notablemente más amarillo-verdoso que a 50°C o 60°C .

Tabla 4. Características de las tiras de coco deshidratadas a tres temperaturas

Los valores de ΔE aumentan significativamente con la temperatura. Estos valores son altos, los ΔE ya superiores a 3 son ya fácilmente perceptibles por el ojo humano. Mientras que valores superiores a 10-12 indican cambios de color drásticos, por lo que esto significa que el proceso de deshidratación, especialmente a temperaturas más altas, causa una alteración muy notable en el color del coco deshidratado en comparación con su referencia de coco fresco. La temperatura es un factor crítico que impacta directamente en la magnitud del cambio de color global, a mayor temperatura, mayor es la degradación o transformación de los pigmentos (o la formación de nuevos compuestos coloreados). Los valores de C^* fueron bajos, indicando que los colores de las tiras de coco deshidratadas son poco saturados, es decir, tienden a ser blanquecinas o grisáceas. Siendo un resultado esperable para el coco. El hecho de que el croma sea relativamente constante entre 50°C y 60°C , y solo aumente ligeramente a 70°C , por lo que la intensidad del color no es el principal contribuyente a la gran diferencia de color global.

Los resultados del perfil sensorial cualitativo y la evaluación global realizados a las muestras de chips de coco deshidratadas muestran que a 50°C fueron rechazadas los chips señalándose los mayores defectos en la apariencia y textura. Entre las muestras deshidratadas a 60 y 70°C se decidió seleccionar la muestra a 60°C , teniendo en cuenta su calidad organoléptica.

CONCLUSIONES

El secado osmoconvectivo de las rodajas de coco a 50 , 60 y 70°C requirió 80 , 75 y 60 min, respectivamente, para reducir el contenido de humedad desde $30,09$ % m/m después de realizada la ósmosis hasta 5 % m/m. El coco fresco contaba con una humedad inicial de $46,28$ % m/m, la cual disminuyó en un 16 % m/m luego de realizar la deshidratación osmótica. El modelo más adecuado para representar la cinética de la relación de humedad de los chips de coco fue el de Midilli modificado. Los parámetros colorimétricos si fueron afectados con el aumento de la temperatura de secado y se evidencia que se producen reacciones de pardeamiento no enzimático durante el secado. Las muestras deshidratadas a 50°C fueron rechazadas señalándose los mayores defectos en la apariencia y textura. Entre las muestras deshidratadas a 60 y 70°C se decidió seleccionar la muestra a 60°C , teniendo en cuenta su calidad organoléptica.

Esta investigación es un resultado del proyecto: Industrialización de productos derivados del coco perteneciente al programa sectorial de industrialización de alimentos financiado por el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA) de Cuba.

REFERENCIAS

1. Umaña-Calderón M, Muñoz-Mena J, Pacheco-Retana Y, Vargas-Elías G. Cinética del secado de coco por radiación. *Tecnol Marcha* 2019; 32 (Especial):115-21.

2. Henrietta HM, Kalaiyarasi K, Stanley-Raj G. Coconut Tree (*Cocos nucifera*) Products: A Review of Global Cultivation and its Benefits. *JOSEM* 2022; 1(2):257-64.
3. Gosh AB, Sharangi AB, Datta S. Postharvest, product diversification and value addition in coconut. *Value Addition of Horticultural Crops: Recent Trends and Future Directions*. 2015. Springer India.
4. Beneraj R, Wijerathne WD, Ekanayake RM, Vidanapathirana AC. Development and characterization of an automated coconut husk chips drying machine. *Towards a Resilient Future Opportunities and Innovations*. 2022. University of Vocational Technology.
5. Estupiñan E, Sánchez W. Plan de empresa para la creación de fibras de coco, empresa dedicada a la producción y comercialización de fibras y sustrato a partir de la estopa de coco (tesis de pregrado). Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente, Colombia; 2019.
6. Alvarado K, Blanco A. Social disturbances of science and the technology in the cultivation of the coconut palm in Baracoa. *HCT* 2021; 4(25).
7. Ríos C. Estudio de factibilidad económica para el procesamiento, comercialización de snacks de frutas deshidratadas en el Cantón Machala (trabajo de pregrado). Ecuador: Universidad Técnica de Machala; 2014.
8. Ochoa E, Ornelas J, Ruiz S, Ibarra V, Pérez J, Guevara J, Aguilar C. Tecnologías de deshidratación para la preservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *RevCiencBiol Salud* 2013; XV (2):39-46.
9. Ayala AA. Evaluación del secado convectivo asistido con bomba de calor en muestras de mango Tommy. Colombia: Universidad del Valle; 2013.
10. Heldman DR, Lund DB. *Handbook of Food Engineering*. 2007. CRC Press, Boca Raton, EE. UU, p. 644.
11. Bhavya EP, Govind RN, Soumya M, Santhi MM. *Studies on Development of Coconut Chips* (tesis de pregrado). India: Facultad de Ingeniería y Tecnología Agrícola de Kelappaji; 2014.
12. Choosuk N, Meesuk P, Renumarn P, Phungamngoen C, Jakkranuhwat N. Kinetic Modeling of Quality Changes and Shelf Life Prediction of Dried Coconut Chips. *Processes* 2022; 10:e1392.
13. Pravitha M, Manikantan MR, Kumar VA, ShameenaBeegum PP, Pandiselvam R. Comparison of drying behavior and product quality of coconut chips treated with different osmotic agents. *Food SciTechnol* 2022;162:e113432.
14. Pérez NE, Schmalko ME Convective drying of pumpkin: influence of pretreatment and drying temperature. *J Food Process Eng* 2009; 32(1):88-103.
15. Chandra PK, Singh RP. *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. CRC Press 1995.
16. Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. A new model for single-layer drying. *Dry Technol* 2002; 20:1503-13.
17. Ghazanfari A, Emami S, Tabil L, Panigrahi S. Thin-layer drying of flax fiber: II. Modeling drying process using semi-theoretical and empirical models. *Dry Technol* 2006; 24(12):1637-42.
18. Demir V, Gunhan T, Yagcioglu A. Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosyst Eng* 2007; 98(1):47-53.
19. Erbay Z, Icier F. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Crit RevFood Sci Nut* 2010; 50(5):441-64.
20. Vega-Gálvez A, Miranda M, Puente-Díaz L, López L, Uribe E, Rodríguez K, Di Scala K. Effective moisture diffusivity determination and mathematical

- modelling of the drying curves of the olive-waste cake. *Bioresour Technol* 2010; 101(19): 7265-70.
21. Levate L, Costa W, da Silva C, Henriques S, Quintao LJ. Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. *J Food Process Eng* 2020; 43(9): 1-10.
 22. Doymaz I. Air-drying characteristics of tomatoes. *J Food Eng* 2007; 78(4): 1291-97.
 23. Sivasakthi M, Sangeetha N. Development of cocosnucifera chips impregnating beta vulgaris extract as an osmotic medium. *GIDA* 2012; 37 (6):317-24.
 24. Barlina R, Trivana L, Manaroinsong E. Effect of Immersion in Calcium Chloride Solution on the Characteristic of Coconut Chips during Storage. *Cord* 2019; 35 (1):11-20.
 25. da Silva WP, do Amaral DS, Duarte MEM, Mata MERMC, Silva CMDPS, Pinheiro RMM, Pessoa T. Description of the osmotic dehydration and convective drying of coconut (*Cocos nucifera* L.) pieces: A three-dimensional approach. *J Food Eng* 2013; 115(1):121-31.
 26. Kwabena D, Sarpong F, Owusu-Kwarteng J, Frimpong E. Drying kinetics and mathematical modeling of coconut meat slices: Insight into pretreatment and drying synergic effect. *Heliyon* 2024; 10.
 27. Madamba P. Thin Layer Drying Models for Osmotically Pre-dried Young Coconut. *Dry Technol* 2003; 21(9):1759-80.
 28. Agarry S, Aworanti O. Modelling the Drying Characteristics of Osmosised Coconut Strips at Constant Air Temperature. *J Food Process Technol* 2012; 3.
 29. dos Santos FS, de Figueirêdo RMF, Queiroz AJdM, Santos DdC. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed 'pitaya' peels. *Rev Bras Eng Agric Ambient* 2017; 21(12):872-7.
 30. Simpson R, Ramírez C, Nuñez H, Jaques A, Almonacid S. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. *Trends Food Scienc Technol* 2017; 62:194-201.
 31. Zogzas NP, Maroulis ZB, Marinou-Kouris D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Dry Technol* 1996; 14(10):2225-53.