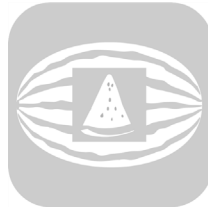


Evaluación de efecto de secado por ventana de refractancia en mesocarpio de sandía



Colaboración

Karla Yoali Sánchez Andrade; Rosalía Cerecero Enríquez, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba; José Manuel Tejero Andrade Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz; Leticia López Zamora, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2022

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: La sandía es un fruto comúnmente consumido a nivel mundial, con aporte nutricional en vitaminas, minerales, polifenoles y carotenoides en el endocarpio y mesocarpio, este último desperdiciándose al no considerarse para consumo humano en México, donde un tercio de los alimentos producidos son desechados [1]. Dado lo anterior, en este trabajo se propone, evaluar el efecto del secado por ventana de refractancia (VR) del mesocarpio de sandía, mediante colorimetría, espectrofotometría FTIR y difusividad efectiva. El secado por VR fue a 65,75,85°C y de 3,5,7 mm de espesor de rodaja.

La retención de compuestos como polifenoles fue comprobada a través del FT-IR medio donde destacan picos en regiones de 3800-3200 cm^{-1} . Los coeficientes de difusividad efectiva promedio de 14.9075×10^{-10} a $4.6006 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo efecto del incremento de temperatura aplicado durante el secado.

PALABRAS CLAVE: difusividad efectiva, FTIR, mesocarpio, sandía, secado por ventana de refractancia.

ABSTRACT: Watermelon is a fruit commonly consumed worldwide, with nutritional contribution in vitamins, minerals, polyphenols and carotenoids in the endocarp and mesocarp, the latter being wasted because it is not considered for human consumption in Mexico, where a third of the food produced is discarded [1]. Therefore, this work proposes to evaluate the effect of refractance window drying (RWD) of watermelon mesocarp through colorimetry, FTIR spectrophotometry and effective diffusivity. RW drying at 65,75,85°C and 3,5,7 mm slice thickness.

The retention of compounds such as polyphenols was tested through medium FT-IR where peaks in regions of 3800-3200 cm^{-1} stand out. The average effective diffusivity coefficients ranged from 14.9075×10^{-10} to $4.6006 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, being the effect of the temperature increase applied during drying.

KEYWORDS: drying window refractance, effective diffusivity, FTIR, rind, watermelon.

INTRODUCCIÓN

La FAO (2019), reportó una pérdida del 11.6% en alimentos en América Latina y el Caribe, desde la cosecha hasta el consumo, donde las frutas y hortalizas representan 21.6% de esas pérdidas [2], por ello, existe una amplia variedad de métodos para la conservación de estos alimentos, como el secado, que consiste en la remoción del conte-

nido de agua a través de la aplicación de calor. De los diferentes tipos de secados, destaca el secado de ventana de refractancia (RW, por sus siglas en inglés), el cual emplea los tres mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación). A diferencia de otros métodos, requiere menor tiempo de secado y aporta una mayor preservación del color, olor y sabor en el deshidratado, además de retener compuestos termosensibles como los polifenoles. En el secado se ven implicados los coeficientes termodinámicos como la difusividad efectiva, que influye en el procesamiento y estabilidad de los alimentos al involucrar interacciones de parámetros como temperatura y contenido de agua [3].

En el presente trabajo, se realizó la caracterización del mesocarpio de sandía, obteniendo las cinéticas de secado en ventana de refractancia, coeficientes termodinámicos y análisis mediante FT-IR para corroborar la retención de compuestos orgánicos después del secado.

MATERIAL Y MÉTODOS

La sandía fue obtenida en el Mercado Zapata de la ciudad de Orizaba, a posteriori, sanitizada y el mesocarpio fue licuado al vacío (maquina Ozen HB300). El análisis de color mediante el colorímetro para sólidos HunterLab MiniScan XE Plus, cuyos resultados fueron capturados mediante Universal Software versión 4.10, usando la ecuación (1), (2) y (3), para L, a y b, junto con ΔE , con la ecuación (4).

$$\Delta L = L_{inicial} - L_{final} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\Delta a = a_{inicial} - a_{final} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\Delta b = b_{inicial} - b_{final} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

L = luminosidad

a = coordenadas rojo/verde

b = coordenadas amarillo/azul

La pulpa se colocó en forma circular para espesores de 3, 5 y 7 mm y, se deshidrató mediante radiación infrarroja del agua a 85, 75 y 65°C, depositados sobre una película de Mylar. A fin de mejorar el proceso se añadió una cabina de metacrilato con extractores en ambas paredes laterales, esto para reducir los tiempos del secado (véase Figura 1). Todos los ensayos experimentales se realizaron por triplicado, se presentan resultados promedio.



Figura 1. Secador de ventana de refractancia.

Fuente: Elaboración propia.

Las cinéticas de secado se utilizaron para el cálculo de proporciones de humedad (MR) en las muestras, de acuerdo con la ecuación (5):

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

M = contenido de humedad de la pulpa de mesocarpio de sandía

M_{eq} = humedad en equilibrio en el mesocarpio de sandía.

M_i = humedad inicial del mesocarpio de sandía.

En el software Minitab 2018, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un diseño 2^3 , para determinar si variables como la temperatura o espesor, son significativos para el proceso.

Coefficientes de transferencia

Coefficientes de la energía de activación, fue determinada a partir de la ecuación de Arrhenius (6), la cual describe la relación de la difusividad efectiva y temperaturas de secado:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{R(T_a - 273.15)}\right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

D_0 = factor pre exponencial

E_a = energía de activación (kJ/mol)

R = constante de los gases ideales (8.314 kJ/mol•K)

T_a = temperatura (K).

La difusividad efectiva fue calculada con la ecuación (7):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{L^2}\right) \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

L = espesor de las muestras de pulpa (mm)

t = tiempo (min).

Espectrofotometría por Infrarrojo por Transformada de Fourier

Se utilizó el FT-IR Nicolet iS5 a temperatura de 20°C, cuyo rango de número de onda de 400-4000 cm^{-1} . El análisis del espectro fue realizado con el software Thermo Scientific OMNIC en muestras

secas de mesocarpio de sandía, las cuales fueron acondicionadas con 0.05 g de KBr y sinterizadas con una prensa.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los resultados de colorimetría de la pulpa de mesocarpio de sandía en fresco y en muestra deshidratada.

La luminosidad (L) incrementa con la aplicación de calor, coincidiendo con Nasir et al. (2020) con un parámetro L de 57.57, causado por una posible reacción de Maillard al tratamiento térmico, así mismo, se observa disminución en las coordenadas a y b, indicando tonalidades amarillas y marrones [4], difiriendo de la tonalidad verde inicial (indicado por la coordenada b).

Tabla 1. Colorimetría de mesocarpio de sandía por secado VR.

Medición	L	a	b	ΔE
Natural	39.23	-0.85	6.14	-
65°C	24.46	1.79	6.57	16.55
75°C	44.38	0.54	12.89	37.18
85°C	57.76	-0.82	11.42	49.70

Fuente: Elaboración propia.

Cinéticas de secado

Considerando la pérdida de humedad contra tiempo, se muestra la Figura 2 esta relación considerando al espesor de 3 mm; se observa que las muestras sometidas a 75 y 65°C mantienen un mismo comportamiento ante un periodo de velocidad decreciente en 60 min, en comparación a muestras a 85°C al reducir 50% del tiempo, además de obtener humedad promedio de 0.0414 g agua/g producto húmedo, inferior al obtenido en los otros experimentos (0.1526 y 0.1555 g agua/g producto húmedo, respectivamente) en el mismo tiempo. Por otro lado, se destaca un mejor ajuste lineal en las muestras a 85°C con un R² promedio de 83.98.

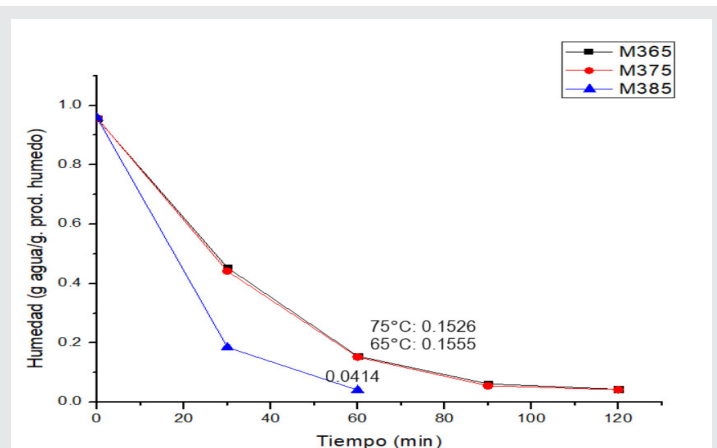


Figura 2. Cinética de secado VR en mesocarpio con espesor de 3 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Coeficientes

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes para las muestras de mesocarpio de sandía deshidratadas, v. gr., la difusividad efectiva, oscilando entre valores promedio de 14.9075×10^{-10} a 4.6006×10^{-10} m²/s en secado por ventana de refractancia, coincidiendo con Cambuy-Siqueira et al. (2020) y Leite et al. (2022), con difusividades de 7.97×10^{-10} a 1.27585×10^{-9} m²/s en secado solar con temperaturas de 40 a 60°C en sandía [5,6], con esto se comprueba la dependencia de temperatura en la difusividad efectiva, además del incremento de la difusividad ante la disminución de la humedad en el mesocarpio [7].

Por otro lado, la energía de activación promedio en mesocarpio rondó en 12.8075 a 13.9012 kJ/mol. Esto concuerda con Cambuy-Siqueira et al. (2020) y Hoque y Iqbal (2015) que obtuvieron valores de 10.55 a 14.40 kJ/mol [5, 8]. En alimentos, la energía de activación suele ser de 12.7 a 110 kJ mol⁻¹ [6], donde, rangos bajos indican un producto térmicamente estable [9].

Tabla 2. Difusividad efectiva y E_a de mesocarpio de sandía por VR.

Exp.	D _{eff} (m ² /s)	E _a (kJ/mol)
85°C	14.9075×10^{-10}	13.9012
75°C	9.8321×10^{-10}	13.0219
65°C	4.6006×10^{-10}	12.8075

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de ANOVA para la difusividad efectiva indicó un P-valor significativo de 0.003 en el factor de temperatura, indicando la influencia de este parámetro para la deshidratación del mesocarpio.

Espectroscopia FTIR

En ANEXO A, se pueden apreciar ondas prominentes en diversas regiones, destacando valores de 3776.92, 3451.51, 3420.81 y 3374.78 cm⁻¹, de acuerdo con autores Kumar-Patle et al. (2020) y Bichi et al. (2022), señalan que ondas en la región de 3700-3200 cm⁻¹, pertenecen grupos funcionales O-H como alcoholes, ácidos carboxílicos, nitratos [10,11], indicando la presencia de fenoles en la muestra.

Picos intensos alrededor de la región mencionada también puede indicar la presencia de celulosa, pectina y lignina [12,13]. Otro compuesto de importancia es el caroteno, y de acuerdo con Triveide et al. (2017), picos en la región de 1400-1500 cm⁻¹ son usualmente causados por la flexión y vibración de metileno -CH₂, asociado los pigmentos de licopeno [14].

CONCLUSIONES

Las muestras de mesocarpio de sandía con espesor de 3 mm muestran una reducción del 50% a la temperatura más alta, con R² promedio de 83.98.

La difusividad efectiva promedio obtenida fue de 14.9075×10^{-10} a 4.6006×10^{-10} . Mediante FT-IR se comprobó la presencia de compuestos orgánicos como polifenoles y licopeno después del tratamiento térmico en las muestras.

El mesocarpio de sandía deshidratado con polifenoles y carotenoides puede aportar a la dieta y enriquecer otros alimentos como son bebidas, snack, alimentos sólidos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONAHCYT por el apoyo brindado al becario con CVU 1180050.

BIBLIOGRAFÍA

[1] México. Procuraduría Federal del Consumidor. (2022). Evita el desperdicio de alimentos. Consumidor. (2022). Evita el desperdicio de alimentos.

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

[3] Castro Arata, D.H., Otero Nole, K., Llamoca Domínguez, E. (2022, Enero). Estudio de los parámetros cinéticos en el secado de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*). Revista de Innovación y Transferencia Productiva, 2 (1). Consultada el 7 de enero de 2022. <https://doi.org/10.54353/riip.v2i1.e005>.

[4] Nasir, H., Allai, F., Gull, A., Ahmad-Ganaie, T., Azad, Z. (2020). Effect of pre-treatments on desirable qualities attributes of watermelon rind based candy, Journal Postharvest Technology, 8 (1), 38-52.

[5] Cambuy-Siqueira, V., Acácio-Mabasso, G., Darci-Quequeto, W., Ramos da Silva, C., Siqueira-Martins, E., Pedroza-Isquierdo, E. (2020). Drying kinetics and effective diffusion of Watermelon seeds. Research, Society and Development, 9(4), 1-17.

[6] Leite, D. D. F., Queiroz, A. J. M., de Figueirêdo, R. M. F., dos Santos, F. S., Silva S. N. & Santos, D. C. (2022). Mathematical modeling and thermodynamic properties in the drying of citron watermelon seeds. Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, 26 (1), 67-74.

[7] Cevoli, C., Panarese, V., Catalogne, C. & Fabbri, A. (2020). Estimation of the effective Moisture diffusivity in cake baking by the inversion of a finite element model. Journal of Food Engineering, 270. Consultada en abril de 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109769>.

[8] Hoque, M., Iqbal, A. (2015). Drying of Watermelon Rind and Development of Cakes from Rind Powder. International Journal of Novel Research in Life Science, 2 (1), 14-21.

[9] Montanuci, F., De Matos-Jorge, L., Matos-Jorge, R. (2013). Kinetic, thermodynamic properties and optimization of barley hydration. Food Science Technology, 33 (4), 690-698.

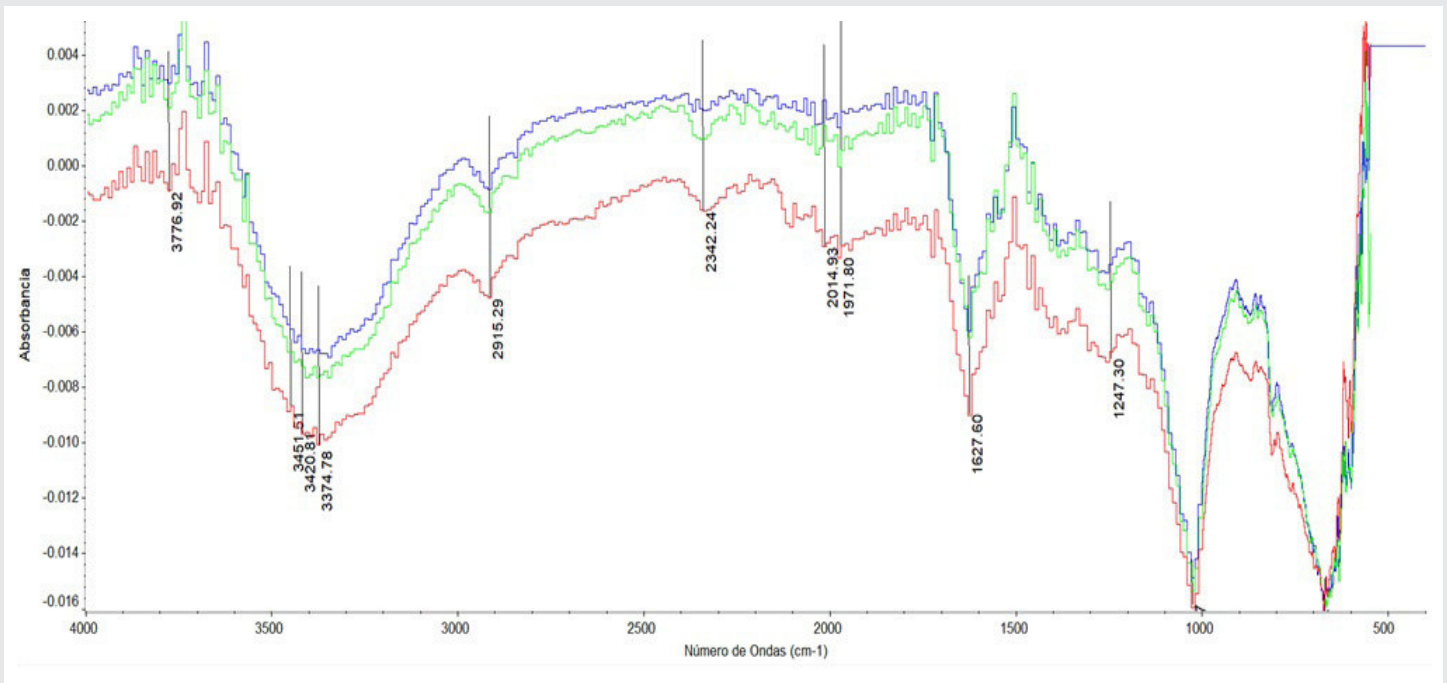
[10] Kumar-Patle, T., Shrivastava, K., Kurrey, R., Upadhy, S., Jamgde, R., Chauhan, R. (2020, Diciembre). Phytochemical screening and determination of phenolics and flavonoids in *Dillenia pentagyna* using UV-vis and FT-IR spectroscopy. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 242. Consultada el 5 de diciembre de 2020, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118717>.

[11] Bichi, S., Abdulmumin, Y., Abdulmumin, T., Muhammad, T., Muhammad, I., Murtala, M., Dalhatu, M., Amina, L., Sarki, S., Danjaji, H., Mustapha, R. (2022). CG-MS and FTIR Analysis of Aqueous Extract of *Citrillus lanatus* (Watermelon) Rind. Scholars International Journal of Biochemistry, 5 (4), 57-66.

[12] Lakshmi pathy, R., Sarada, N. (2015). Methylene blue adsorption onto native watermelon rind: batch and fixed bed column studies. Desalination and Water Treatment, 57 (23), 10632-10645.

[13] Zhuang, J., Li, M., Pu, Y., Ragauskas, A., Geun-Yoo, C. (2020). Observation of Potential Contaminants in Processed Biomass Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Applied Sciences, 10 (12).

[14] Trivedi, N., Tandon, S., Dubey, A. (2017). Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) profiling of red pigment produced by *Bacillus subtilis* PD5. African Journal of Biotechnology, 16 (27), 1507-1512.



ANEXO A. Espectro FT-IR de mesocarpio de sandía.
Fuente: Elaboración propia.