

SECADO DE RODAJAS DE CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.), EN DIFERENTES EQUIPOS

Donovan Misael Arévalo-Alcalá¹, Julieta González-Sánchez¹ y María Elena Vargas-Ugalde^{1*}

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

[*mevargasu@gmail.com](mailto:mevargasu@gmail.com)

Resumen

Se estudió el efecto del pretratamiento (sin escaldado, con escaldado natural y con escaldado con bicarbonato de sodio al 3%) y espesor (3, 4 y 5 mm) en rodajas de calabaza italiana utilizando tres tipos de secadores (charolas convectivo, transversal y microondas). En los secadores de charolas y transversal las calabazas se secaron 2 horas a 70 °C y una velocidad de aire de 0.57 m/s y 0.22 m/s respectivamente. En el horno de microondas se secaron 22 min a 400W. Las muestras escaldadas mostraron mayor velocidad de secado utilizando el horno de microondas y secador transversal. El tiempo de secado con escaldado disminuyó hasta un 45% en microondas y de 30% en el secador transversal, en ambos equipos el secado trascurrió en periodo decreciente, sin embargo, el secador transversal tuvo una humedad final más alta comparado con el secador de flujo paralelo. Las muestras con pretratamiento y espesor de 3 mm mostraron menor diferencia de color y mayor coeficiente de difusión. En horno de microondas el tiempo de secado fue muy corto, hubo mayor daño estructural y un secado heterogéneo. La humedad final fue mayor en comparación con los otros equipos.

Palabras clave: Deshidratación, horno de microondas, escaldado, eficiencia térmica.

Introducción

La calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) es un producto de alto consumo, bajo costo, fácil procesamiento y almacenamiento. Su composición química está conformada por agua 96.5%, proteínas 0.6%, grasas 0.2%, carbohidratos 2.2% y fibra 0.05% (Moreiras *et al.*, 2013). Dado que el contenido de humedad es alto, es susceptible de

una rápida degradación y pérdida de calidad. El secado por convección convencional es uno de los métodos de conservación más comunes, ayuda a prolongar la vida útil del producto, conserva sus nutrimentos y características organolépticas, facilita su manejo y transporte. Algunas propiedades físicas importantes de los productos se modifican mediante esta técnica de secado, como la pérdida de color, el cambio de textura, los cambios químicos que afectan al sabor los nutrimentos y la contracción (Orsat *et al.*, 2006). El procesamiento por microondas es una tecnología alternativa que ha sido utilizada con éxito en diferentes aplicaciones en la industria química y más recientemente en diversos procesos unitarios en la industria alimentaria, como la descongelación, el secado, la cocción, el escaldado, el horneado, entre otras (Contreras *et al.*, 2017). El secado por microondas utiliza energía eléctrica en el intervalo de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz, siendo 2450 MHz la frecuencia más utilizada; presenta numerosas ventajas como un calentamiento volumétrico rápido, mayor velocidad de secado, tiempos cortos de secado, mejora de la calidad del producto, requiere un consumo de energía reducido y los costos operativos son bajos, sin embargo, presenta limitaciones como costos iniciales elevados en secadores industriales, pérdida parcial del aroma y cambios sensoriales negativos, la textura del producto puede verse afectada, se requiere de un tamaño y una forma de muestra específicos para un secado eficaz (Orsat *et al.*, 2006). La principal causa de aplicación de microondas en el secado es la aceleración de los procesos, que (sin el uso de microondas) están limitados en los secadores convencionales por su baja conductividad térmica, especialmente en productos con bajo contenido de humedad. La combinación de tecnologías puede evitar los daños sensoriales y nutrimentales causados por tiempos de secado prolongados y altas temperaturas (Saheen *et al.*, 2012).

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue calcular la diferencia de color (ΔE) y tamaño del producto, los coeficientes de transferencia de masa y difusión, y el gasto energético del proceso, a través de colorimetría, determinación del porcentaje de reducción de

tamaño, curvas de secado y balances de materia y energía para evaluar el efecto del pretratamiento y el espesor de rodajas de calabaza italiana en el secado en tres diferentes equipos (secador de charolas convectivo, secador de flujo transversal y horno de microondas) y encontrar las mejores condiciones de proceso.

Materiales y métodos

Se utilizaron calabazas italianas (*Cucurbita pepo* L.), adquiridas en el mercado de Santa María de Guadalupe las Torres, Cuautitlán Izcalli, bicarbonato de sodio (NaHCO_3), (Droguería Cosmopolita, S.A. de C.V.), y agua purificada de marca comercial. Las calabazas fueron lavadas con agua corriente eliminando cualquier residuo que tuviera adherido, se secaron y fueron cortadas en rodajas con espesores de 3, 4 y 5 mm, se utilizó una rebanadora (Torrey, RB-250) para obtener un espesor más homogéneo. Se realizó el pretratamiento por inmersión: escaldado natural, escaldado con una solución de NaHCO_3 al 3%, ambos pretratamientos a 85 °C durante 5 minutos además de las muestras control (sin escaldado). Las muestras con escaldado se dejaron escurrir durante 5 min. Los diámetros y espesores fueron medidos con un vernier digital (Extech Instruments HD500).

Humedad

Para obtener la humedad inicial y final se empleó un analizador de humedad (OHAUS, MB27) de acuerdo con la norma NMX-F-428-1982 (SECOFI-DGN, 1982); para conocer la pérdida de peso durante el secado se empleó una balanza digital (OHAUS, TROOPER COUTN; PRECISA).

Curvas de secado y coeficiente de difusión

Las curvas de secado se obtuvieron mediante la determinación de la humedad en base seca empleando las siguientes ecuaciones.

$$X = \frac{w-w_s}{w_s} \left[\frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólidos secos}} \right] \qquad R = \frac{L_s}{A} \left(\frac{\Delta X}{\Delta t} \right) \left[\frac{\text{Kg agua}}{\text{hm}^2} \right]$$

Donde: X = humedad en base seca [$\text{kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$]

W_s = Peso del sólido seco [kg]

W_a = Peso total de sólidos húmedos [kg]

L_s = Sólidos secos [kg]

A = área total de secado [m^2]

ΔX = Diferencia de humedades [$\text{kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{ss}}$]

Δt = Diferencia de tiempo (h)

Coefficiente de difusión efectiva (D_{eff})

El coeficiente de difusión efectiva describe las características de secado de alimentos en función a la temperatura y contenido de humedad, se consideraron láminas infinitas y se aplicó la segunda ley de Fick. Al representar gráficamente los valores en una escala logarítmica se obtiene el coeficiente de difusión aplicando la ecuación lineal (Senadeera *et al.*, 2003).

$$\ln(MR) = \frac{8}{\pi} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2}$$

Donde: MR = relación de humedades

D_{eff} = Coeficiente de difusión efectiva [m^2/s]

L = espesor de la placa infinita (m)

Color

Para la medición del color, se empleó un colorímetro (Konica Minolta, CR300), la diferencia entre dos muestras de color (ΔE) se obtuvo a través de los valores de L , a , b del sistema CIE (Mathias y Ah-Hen, 2014).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Reducción de tamaño

El porcentaje de reducción de tamaño se calculó midiendo las dimensiones iniciales y finales del secado y durante el proceso, se controló que las rodajas siempre fueran las mismas.

$$\%Reducción\ de\ tamaño = \frac{Diámetro\ inicial - Diámetro\ final}{Diámetro\ inicial} * 100$$

Gasto energético

El gasto energético en el secador con flujo transversal y horno de microondas se obtuvo midiendo la potencia en función del tiempo, pues ambos secadores emplean energía eléctrica para su calentamiento.

$$Gasto\ energético = potencia\ promedio\ [kW] * tiempo\ total\ de\ secado\ (h)$$

En el secador de charolas (flujo paralelo), se aplicó un balance de energía:

$$Q_s + SS(h_1 - h_2) = G_s(H_1 - H_2) + Q_p$$

Donde: Q_s = Calor suministrado [kJ/h]

SS = kg de sólidos secos [kg de sólidos secos/h]

h_1, h_2 = Entalpía del alimento a la entrada y salida, respectivamente [kJ]

G_s = Flujo de aire seco [kg de aire seco/h]

H_1, H_2 = Entalpía del aire a la entrada y salida respectivamente [kJ/kg]

Q_p = Calor perdido [kJ/kg]

Resultados

Humedad

La humedad inicial de las rodajas de calabaza italiana sin tratamiento fue en promedio de 87.25%, para escaldado natural y escaldado con $NaHCO_3$ fue de 91.6%. En la Tabla 1 se observa que el porcentaje de humedad final en las muestras de 4 mm de

espesor con pretratamiento fue menor en todos los secadores, mientras que en el horno de microondas las humedades finales fueron las más altas.

Tabla 1. Humedad final (%) en rodajas de calabaza italiana (Elaboración propia).

	Secador								
	Flujo Paralelo			Flujo Transversal			Horno microondas		
Espesor (mm)	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Pretratamiento									
Sin escaldado	17.05	5.06	44.44	9.20	50.48	68.32	17.02	10.23	55.64
Con									
escaldado en	7.34	5.54	18.46	9.51	14.12	15.26	39.12	25.95	60.27
agua									
Con									
escaldado con									
NaHCO ₃ al	8.93	5.36	29.10	11.88	11.11	29.81	11.88	8.71	46.67
3% en agua									

Curvas de secado

En la Figura 1, se observa que la rapidez del secado de las rodajas de 4 mm de calabaza italiana fue mayor con el secado con flujo paralelo que con el transversal. Se puede observar en la Figura 1a que el equipo influyó significativamente en el secado, mientras que el pretratamiento no mostró diferencia significativa. En la Figura 1b, se observa que el secado fue más rápido en el horno de microondas, sin embargo, el porcentaje de humedad final fue mayor, al incrementarse el tiempo de exposición al secado las muestras presentaron daño en su estructura.

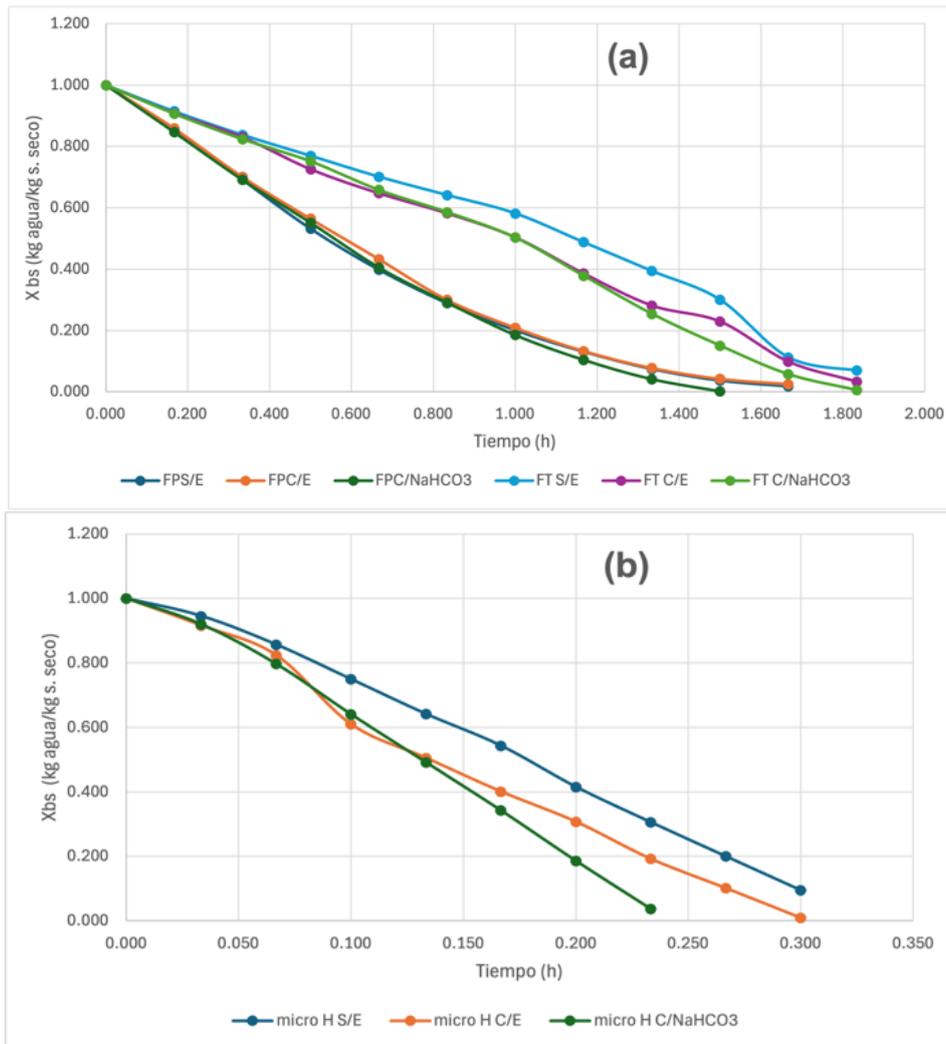


Figura 1. Humedad normalizada de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana (a) secador de flujo paralelo (FP) y flujo transversal (FT) y (b) secado con horno de microondas (micro H); ambos: sin escaldado (S/E), con escaldado natural (C/E) y con escaldado NaHCO₃. (Elaboración propia)

Curvas de velocidad de secado

En la Figura 2 se observa que la velocidad de secado (R) en rodajas de 4mm de espesor en el secador de charolas con flujo paralelo con diferente pretratamiento, fue mayor con escaldado natural y con NaHCO₃ que sin pretratamiento.

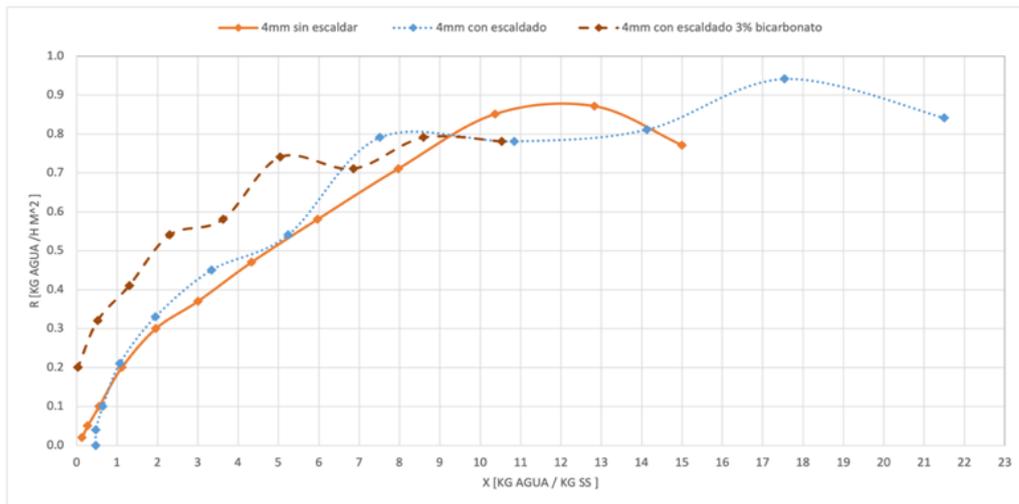


Figura 2. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el secador de flujo paralelo (Elaboración propia).

En la Figura 3, se observa que las muestras con pretratamiento tuvieron una velocidad de secado similar, a diferencia de la muestra sin pretratamiento donde la velocidad de secado fue mayor al inicio del secado. Con el transcurso del tiempo, ésta fue menor que las que tuvieron pretratamiento.

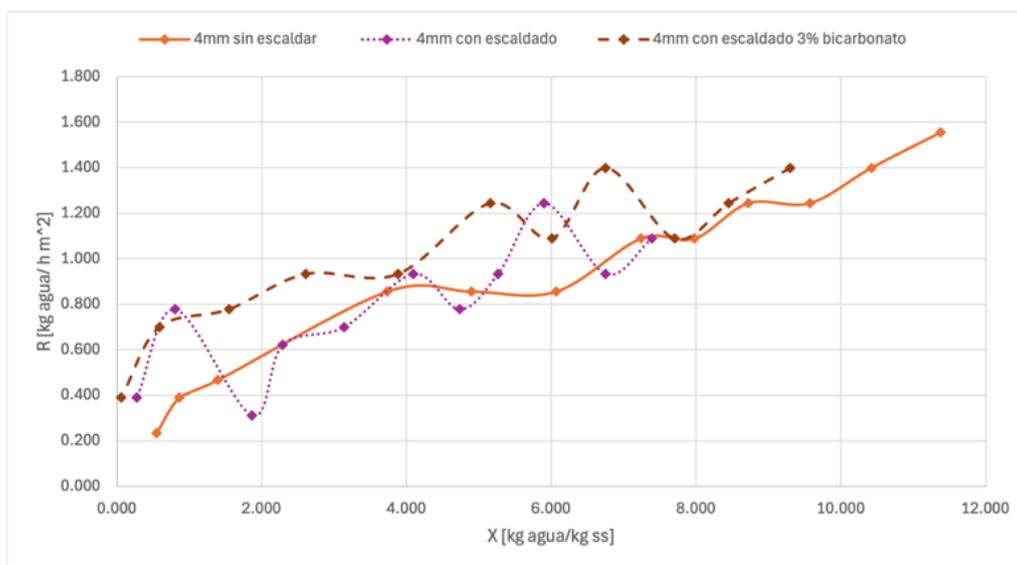


Figura 3. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el secador de flujo transversal (Elaboración propia).

En la Figura 4 se observa que el secado por microondas presentó las mayores velocidades de secado en comparación con los otros secadores y el pretratamiento no tuvo influencia. El método de secado más rápido fue por microondas comparado con los secadores convectivos, sin embargo, la humedad final obtenida fue más alta en casi todos los casos, por lo que se considera que no fueron las mejores condiciones del secado.

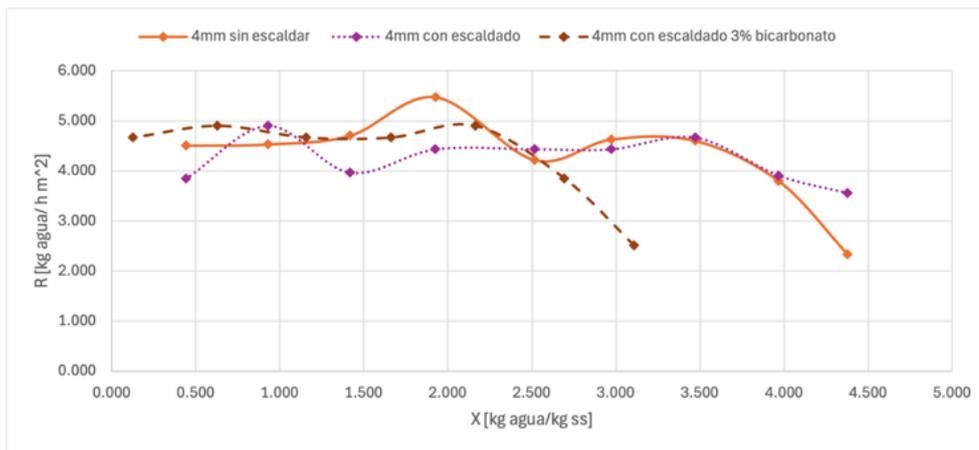


Figura 4. Velocidad de secado de rodajas de 4 mm de espesor de calabaza italiana con pretratamiento en el horno de microondas (Elaboración propia).

Coefficientes de difusión

Ya que la mayor parte del secado se llevó a cabo durante el período decreciente en los tres equipos, se calcularon los coeficientes de difusión, los cuales se presentan en la Tabla 2. Los coeficientes de difusión en horno de microondas fueron mayores en casi todos los casos, en promedio, de $2.282 \text{ E}^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, mientras que, para las muestras con secado transversal y flujo paralelo, los coeficientes de difusión fueron menores. Los más bajos coeficientes de difusión fueron 4.66E^{-10} y $5.15 \text{ E}^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ en el secador de charolas con un espesor de 3 mm y en el transversal con un espesor de 4 mm, respectivamente.

Tabla 2. Coeficientes de difusión de rodajas de calabaza italiana (Elaboración propia).

Pretratamiento	Espesor (mm)	Secador		
		Flujo transversal	Flujo paralelo	Horno microondas
		Coeficiente de difusión $m^2/s \times 10^{10}$		
Sin escaldar	3	9.26	4.66	8.21
	4	5.27	8.77	21.7
	5	6.32	8.62	19.6
Escaldado con agua	3	7.88	5.95	16.6
	4	7.36	5.67	31.9
	5	9.94	6.69	15.6
Escaldado con $NaHCO_3$ al 3%	3	9.08	7.59	19.5
	4	5.15	5.79	20.0
	5	6.44	9.26	37.7

Diferencia de color

La Figura 5 muestra la diferencia de color (ΔE) con los secadores y pretratamientos empleados. Las muestras que sufrieron mayor cambio fueron las que se sometieron al secado con horno de microondas con escaldado natural y escaldado con $NaHCO_3$ al 3% en los tres espesores. El menor cambio de color se presentó en las muestras procesadas en el secador de charolas (flujo paralelo) con y sin pretratamiento.

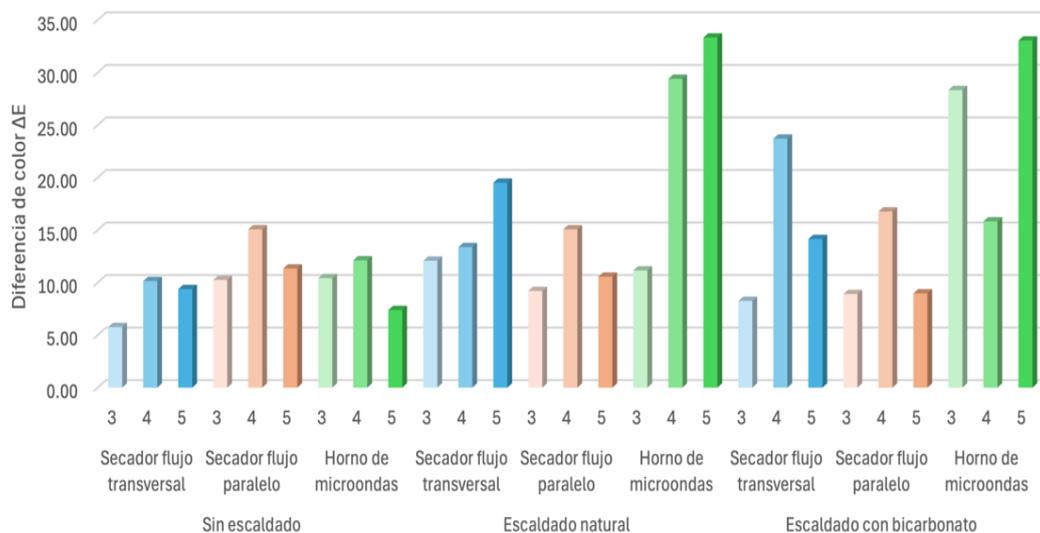


Figura 5. Diferencia de color (ΔE) en calabaza italiana (Elaboración propia).

En la Tabla 3 se muestra el porcentaje total de reducción de tamaño y se observa que en el horno de microondas se tiene el menor porcentaje de reducción de tamaño. Esto es debido al menor tiempo de secado expuesto. La reducción de tamaño fue muy similar entre el secador transversal y el secador de charolas por lo que no se considera dependiente del tipo de flujo.

Tabla 3 Reducción de tamaño al terminar el secado (Elaboración propia).

Pretratamiento	Espesor (mm)	Secador		
		Flujo transversal	Flujo paralelo	Horno microondas
		Porcentaje de reducción de tamaño al tiempo final de secado (%)		
Sin escaldar	3	44.9	42.2	30.0
	4	42.8	33.3	26.8
	5	35.5	31.7	22.2
Escaldado con agua	3	43.9	31.2	26.3
	4	33.3	37.2	25.7
	5	48.8	28.0	22.9
Escaldado con NaHCO ₃	3	36.4	22.3	20.6
	4	31.9	31.2	23.2
	5	28.0	28.6	23.4

Gasto Energético

El gasto energético de los secadores se presenta en la Tabla 4. El secador de flujo transversal, y el horno de microondas con escaldado con NaHCO₃ al 3% y espesor de 3 mm tuvieron el menor consumo energético: 1.14 kW/h y 1.67 kW/h, respectivamente, esto se debe a que los tiempos de secado fueron menores que en las muestras con espesor de 5 mm donde el tiempo de secado fue mayor.

Tabla 4. Gasto energético del secador transversal y horno de microondas (Elaboración propia).

Pretratamiento	Espesor (mm)	Gasto energético (kWh)	
		Flujo transversal	Horno de microondas
Sin escaldar	3	2.75	2.72
	4	2.46	3.28
	5	2.39	3.31
Escaldado con agua	3	1.98	2.19
	4	2.41	3.18
	5	2.36	3.13
Escaldado con NaHCO ₃ al 3%	3	1.14	1.67
	4	1.98	2.12
	5	2.48	3.14

Discusión

Humedad

El contenido de humedad inicial de las rodajas de calabaza fue similar al valor reportado en tablas de composición de alimentos (Moreiras *et al.*, 2013). Los tratamientos de escaldado incrementaron ese valor. El tiempo de secado empleado fue corto (2 h) en comparación con el utilizado por otros autores (Yañez, 2009; Castilla, 2022), quienes obtuvieron de 4.42 a 6.78 % en promedio de humedad final en un secador convectivo, después de secar calabacita a 70°C durante 3 a 10 h. Valores dentro de este intervalo se obtuvieron sólo con el secador de flujo paralelo para las rodajas de 3 y 4 mm de espesor, lo cual se atribuye a la diferencia de tiempos de proceso utilizados.

Curvas de secado y de velocidad de secado.

Se obtuvieron curvas similares a las reportadas por otros autores empleando secadores convectivos (Yañez, 2009; Castilla, 2022).

Coefficientes de difusión

El orden de magnitud de los coeficientes de difusión para secado convectivo fue similar al reportado por otros autores (Gallardo *et al.*, 2020). Para secado en horno de

microondas, se obtuvieron órdenes de magnitud semejantes a los obtenidos por Gamboa y Campañone (2018).

Diferencia de color

Los valores de diferencia de color en los productos secados por convección fueron menores (el máximo alrededor de 22.5 para secado en flujo transversal con 4 mm de espesor) a los obtenidos por otros autores, aunque éstos no la consideran como significativa (39-41 a 70 °C) (Castilla, 2022). Esto pudo deberse a que el tiempo de procesamiento empleado en el presente trabajo fue menor.

Reducción de tamaño

Se tuvo una reducción de tamaño de 20.6 a 30% en el horno de microondas, similar a la obtenida para fresa (20%) por Gamboa y Campañone (2018), aunque debe considerarse que el método utilizado por estas autoras fue el análisis de imágenes que tiene una mayor precisión que la medición con vernier, y que el producto analizado es distinto a la calabacita italiana en composición y estructura. En el secado convectivo de uvas por lecho fluidizado, Santacruz *et al.* (2010), obtuvieron valores de encogimiento de 30 a 40% utilizando como referencia la disminución de área, empleando análisis fractal de imágenes. En el presente trabajo se obtuvieron valores de 22 a 48%. Las diferencias pueden atribuirse a que se trata de productos distintos en geometría y estructura, a la forma de contacto aire-producto o a la precisión del método empleado. Sin embargo, puede considerarse un porcentaje de reducción de tamaño del producto semejante en ambas investigaciones. Las muestras con escaldado con NaHCO_3 de 5 mm de espesor presentaron el menor porcentaje de reducción, independientemente del tipo de secador. Esto se puede atribuir al aumento de la porosidad y permeabilidad inducido por el tratamiento con NaHCO_3 (Doymaz y Pala, 2002).

Conclusión

Las muestras con pretratamiento con agua y con NaHCO_3 presentaron una mayor velocidad de secado en comparación con las muestras sin pretratamiento en el secado con flujo transversal y el horno de microondas. El coeficiente de difusión en el

secado por microondas es mayor que en los otros secadores, pero sus atributos de calidad, como el color se vieron seriamente afectados teniendo el mayor cambio de color en muestras secadas con los dos pretratamientos en horno de microondas. La reducción del tamaño total en las rodajas de calabaza italiana dependió del tipo de secador y fue independiente del pretratamiento y del espesor. Por las características sensoriales se prefiere secar las rodajas de calabaza escaldadas con NaHCO_3 en el secador de flujo paralelo.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con el apoyo financiero de los proyectos DGAPA PAPIIME PE208923 y PIAPI FESC CI2423.

Referencias

- Castilla, R.P. (2022). *Evaluación tecno-económica y sensorial del deshidratado convectivo de calabacita (Cucurbita pepo) por charola y lecho fluidizado*. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma de Querétaro. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3800>
- Contreras, C., Benloch, T.M., Rodrigo, D., Martínez, N.N. (2017). *Impact of microwave processing on nutritional, sensory, and other quality attributes*. En Regier, Knoerzer & Schubert (Eds.) *The Microwave Processing of Food*. 2ed, (pp 65-69) Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00004-8>
- Doymaz, I., Pala, M. (2002). The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 52(4): 413-417. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00133-9)
- Gallardo, A.C.M., Gómez, S.J.A., Sosa, M.M.E. (2020). *Cinética de deshidratación de rebanadas de zanahoria (Daucus carota) y calabaza (Cucurbita pepo) con aire caliente*. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5: 180-183.
- Gamboa, S.J., Campañone, L. (2018). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(2): 33-51. <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1594>

Mathias, R.K., Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agros Sur*, 42(2): 57-66. DOI:10.4206/agrosur.2014.v42n2-07

Moreiras, T.O., Carbajal, A., Cabrera, F.L., Cuadrado, V.C. (2013). *Tablas de Composición de Alimentos*. Ediciones Pirámide.

Orsat, V., Changrue, V., Raghavan, G.S.V. (2006). Microwave Drying of fruit and vegetables. Stewart Postharvest Review. *International Journal for reviews in postharvest biology and technology*. doi: 10.2212/spr.2006.6.4

Saheen, M.S., El-Massry, K.F., El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M. (2012). *Microwave applications in thermal food processing*. En Cao, W. (Ed.). The Development and Application of Microwave Heating. InTech. doi: 10.5772/2619.
<http://dx.doi.org/10.5772/48716>

Santacruz, V.V., Santacruz, V.C., Huerta, E.V.M., Laguna, C.J.O. (2010). Evaluación del encogimiento y deformación de uvas durante su deshidratación por fluidización usando el análisis fractal. *Superficies y Vacío*, 23(S): 61-66.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas (1982). *NMX-F-428-1982. Alimentos- Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza)*.

Senadeera, W., Bhandarii, B., Gordon, Wihesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering* 58, 277-283. doi:10.1016/S0260-8774(02)00386-2

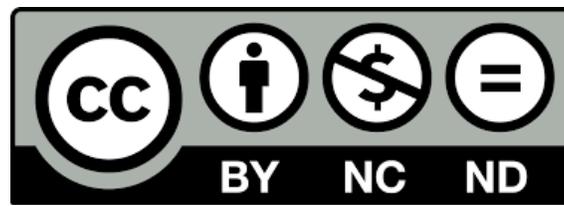
Yañez, F.G., (2009). *Deshidratación de berenjena, betabel, calabacita y zanahoria para su consumo como botana*. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Repositorio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/4169>



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Arévalo-Alcalá, D. M., González-Sánchez, J., y Vargas-Ugalde, M. A. (2024). **SECADO DE RODAJAS DE CALABAZA (Cucurbita pepo L.), EN DIFERENTES EQUIPOS**. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024_Paper14.html