

## **Deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L.) asistida por ultrasonidos de potencia: influencia del tipo de edulcorante en las cinéticas de transferencia de materia**

R. Cardona-Herrera<sup>1,2</sup>, E. Oñate-Rodríguez<sup>2</sup>, J.A. Gómez-Salazar<sup>2</sup>, E. Franco-Robles<sup>3</sup>, C. Ozuna<sup>2\*</sup>

**1** Instituto Tecnológico de la Piedad, Tecnológico Nacional de México, La Piedad, Michoacán. **2** Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Irapuato, Guanajuato, México. **3** Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, Irapuato, Guanajuato, México. \*[cesar.ozuna@ugto.mx](mailto:cesar.ozuna@ugto.mx)

**RESUMEN:** El objetivo general de esta investigación fue estudiar el efecto del tipo de edulcorante en las cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de sólidos totales durante la deshidratación osmótica de potencia en papaya (*Carica papaya* L.) asistida por ultrasonidos. Los tratamientos se llevaron a cabo en un baño de ultrasonidos (20 kHz; 120 W; 5 L) empleando soluciones osmóticas de sacarosa y miel de agave (60°Brix) a 30±3°C. Las muestras cilíndricas de papaya fueron deshidratadas con (US) y sin (ST) la aplicación de ultrasonidos a diferentes tiempos (0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 min). Las cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de sólidos totales fueron modeladas empleando un modelo exponencial. Con base en los resultados obtenidos, el modelo exponencial describió adecuadamente las cinéticas de transferencia de materia ( $R^2 > 0.97$ ). La aplicación de US incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) las constantes de velocidad de reacción de pérdida de humedad y ganancia de sólidos totales durante el proceso. Sin embargo, los aumentos en dichas constantes fueron más pronunciadas en la miel de agave que en la sacarosa, alcanzando incrementos superiores al 60% para las muestras tratadas con US con respecto a las deshidratadas de forma convencional.

**Palabras clave:** Tecnologías no térmicas, sacarosa, miel de agave.

**ABSTRACT:** The main aim of this research was to study the effect of different sweeteners on moisture loss and total solid gain kinetics during the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.) assisted by power ultrasound. The treatments were carried out in an ultrasonic bath (20 kHz, 120 W, 5 L), using osmotic solutions of sucrose and agave syrup (60°Brix) at 30±3°C. Cylindrical samples of papaya were dehydrated with (US) and without (ST) ultrasound application at different times (0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 and 180 min). Moisture loss and total solid gain kinetics were modeled using an exponential model. Based on the results obtained, an exponential model adequately described the mass transfer kinetics ( $R^2 > 0.97$ ). The US application significantly ( $p < 0.05$ ) increased the reaction rate constants of moisture loss and total solid gain during the dehydration process. However, the increase in these constants was more pronounced in agave syrup than in sucrose, reaching increases greater than 60% for samples treated with US in comparison to ST.

**Keywords:** Non-thermal technologies, sucrose, agave syrup.

**Área de trabajo:** Frutas y hortalizas

### **INTRODUCCIÓN**

La papaya (*Carica papaya* L.) es un fruto de alta oferta a nivel nacional como internacional. Se estima que México produce más de 700,000 toneladas por año (SAGARPA, 2017). Durante la etapa de postcosecha se pierden más del 20% de los productos hortofrutícolas. Estas pérdidas son debidas a diferentes factores tales como el inadecuado proceso de recolección, el tipo de embalaje, almacenamiento, insuficientes vías de transportación, entre otras.

En la actualidad, existe una tendencia mundial por la investigación y el desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener productos de alta calidad nutricional (Fernández *et al.*, 2015). Por tal motivo, a nivel industrial se han aplicado diferentes métodos de conservación para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas. En este sentido, la deshidratación osmótica ha sido tema de interés debido a que permite preservar frutos perecederos evitando pérdidas de postcosecha y proporcionando una opción para la transformación de estos productos (Ríos *et al.*, 2005).

Los procesos de deshidratación osmótica generalmente son muy lentos, especialmente a bajas temperaturas. Para aumentar su eficiencia, en los últimos años se ha estudiado el uso de tecnologías no térmicas que permitan intensificar los mecanismos de transferencia de materia en este proceso, tal es el caso de los ultrasonidos de potencia (US). Diversas investigaciones reportan que el uso de US provoca cavitación en medio líquido, este fenómeno induce la reducción del espesor de la capa límite promoviendo mayores pérdidas de agua durante los procesos de deshidratación (Ozuna *et al.*, 2014; Shamaei *et al.*, 2011). Además, las ondas ultrasónicas pueden provocar compresiones alterantes en el alimento (efecto esponja). Dichos efectos están relacionados con la formación de canales microscópicos en el alimento, lo que contribuye a intensificar los mecanismos de transferencia de materia en procesos de deshidratación osmótica (García-Noguera *et al.*, 2010).

La deshidratación osmótica tradicionalmente se realiza empleando como agente osmo-deshidratante la sacarosa (Ríos *et al.*, 2005). Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que este edulcorante está relacionado con diversos problemas de salud en la sociedad como son el sobrepeso, la obesidad y la diabetes. Por otro lado, el jarabe de agave azul o miel de agave es una sustancia dulce producida por la hidrólisis de fructanos almacenados en dicha planta (Mellado-Mojica & López-Pérez, 2013). Este endulzante, compuesto de fructosa y fructooligosacáridos, ha ganado popularidad debido a sus propiedades benéficas tales como su capacidad prebiótica y bajo índice glucémico (Santiago García *et al.*, 2017). El objetivo general de esta investigación fue estudiar la influencia del tipo de edulcorante (sacarosa y miel de agave) en las cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de solutos durante la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L.) asistida por US.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Materia prima.** Los frutos de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) se obtuvieron en un centro comercial de la ciudad de Irapuato, Guanajuato. La selección de la fruta se llevó a cabo cuidando que esta no presentara ningún daño físico exterior y que tuviese un estado madurez dentro del rango 4 (pintona) de acuerdo con lo establecido a la Norma Mexicana NMX-FF-041SCFI:07.

**Deshidratación osmótica.** Para los procesos de deshidratación osmótica de papaya se emplearon muestras de forma cilíndrica (diámetro de 2.6 cm y altura de 2 cm) y se prepararon soluciones osmo-deshidratantes de sacarosa y miel de agave (60°Brix, temperatura ambiente). Se usó un baño de ultrasonidos (20 kHz; 120 W; ULTRASONS HD, Selecta, España) con capacidad de 5 L a una temperatura controlada de 30±3°C. Los tratamientos, llevados a cabo por triplicado, se realizaron con (US) y sin (ST) la aplicación de ultrasonidos a diferentes tiempos de deshidratado (0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 min).

**Determinación de pérdida de humedad y ganancia de sólidos.** Para la determinación del contenido de humedad se utilizó el método descrito por la Norma Mexicana NMX-F-083-1986. La pérdida de humedad (PA) y la ganancia de sólidos (GS) en la papaya deshidratada osmóticamente se calculó siguiendo las ecuaciones 1 y 2, respectivamente (García-Noguera *et al.*, 2010):

$$PA (\%) = \frac{(W_i \cdot X_i - W_f \cdot X_f)}{W_i} \cdot 100 \quad (1); \quad GS (\%) = \frac{(W_f \cdot X_{sf} - W_i \cdot X_{si})}{W_i} \cdot 100 \quad (2)$$

dónde:  $W_i$  es la masa inicial de la fruta antes del tratamiento (g),  $W_f$  es la masa final de la fruta después del tratamiento (g),  $X_i$  es el contenido inicial de humedad de la fruta en base húmeda antes del tratamiento (g de agua/g de masa total de la fruta),  $X_f$  es el contenido final de humedad de la fruta en base húmeda después del tratamiento (g de agua/g de masa total de la fruta),  $X_{si}$  es el contenido inicial de materia sólida seca de la fruta antes del tratamiento (g de materia seca/g de materia total de la fruta) y  $X_{sf}$  es el contenido final de materia sólida seca de la fruta después del tratamiento (g de materia seca/g de materia total de la fruta).

**Modelado de cinéticas.** Los datos experimentales obtenidos en el porcentaje de pérdida de humedad (PA) y ganancia de sólidos (GS) de las muestras fueron modeladas empleando un modelo matemático exponencial (Ochoa-Martínez y Ayala-Apote, 2007).

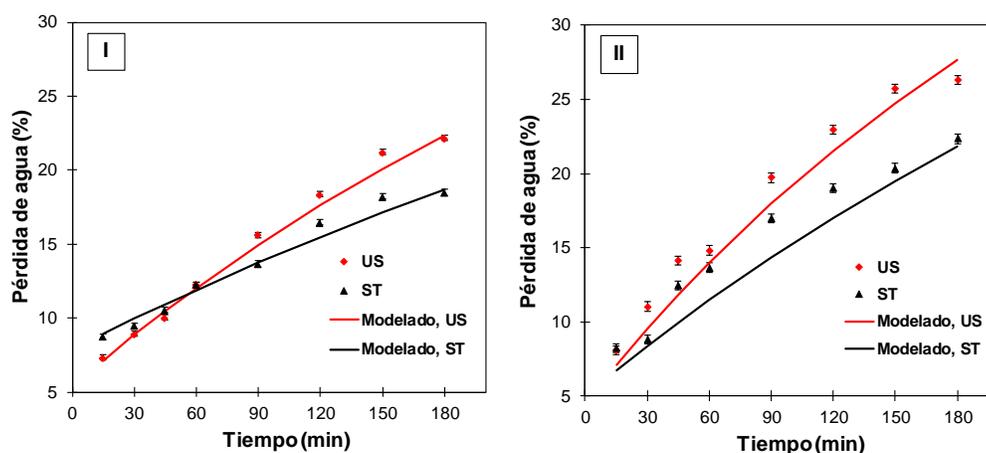
$$PA = e^{(a+kt)} \quad (3); \quad GS = e^{(a+kt)} \quad (4)$$

dónde:  $k$  es una constante de velocidad ( $s^{-1}$ ),  $t$  es el tiempo (s) y  $a$  representa una constante adimensional. Para el análisis del ajuste del modelo a los valores experimentales, se calculó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

**Análisis estadístico.** Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un análisis *post-hoc* de Tukey. Para determinar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos, los datos experimentales se analizaron mediante el programa estadístico Statgraphics versión 16.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pérdida de humedad.** En la Fig. 1 se muestra el efecto de la aplicación de US en las cinéticas de pérdida de humedad (PA) durante la deshidratación osmótica de papaya empleando sacarosa (I) y miel de agave (II) como agentes osmo-deshidratantes (60°Brix).



**Figura 1.** Efecto de la aplicación de ultrasonidos de potencia (20 kHz; 120 W) en el porcentaje de pérdida de humedad en papaya durante el proceso de deshidratación osmótica con sacarosa (I) y miel de agave (II) a  $30 \pm 3^\circ\text{C}$ .

En términos generales, se observa que, al incrementar el tiempo del proceso de deshidratación osmótica existe un mayor porcentaje de PA. En el caso de la sacarosa, durante los primeros 60 min de tratamiento, la PA fue mayor en aquellas muestras ST. Sin embargo, una vez superado este tiempo, el uso de US aumentó significativamente ( $p < 0.05$ ) el porcentaje de PA en las muestras deshidratadas. Al tiempo final del tratamiento (180 min), los porcentajes de PA alcanzados fueron de  $22.18 \pm 0.29\%$  y  $18.49 \pm 0.91\%$  para las muestras tratadas con y sin aplicación de US, respectivamente (Fig. 1,I). Por otro lado, al emplear miel de agave como agente osmo-deshidratante (Fig. 1. II), la aplicación de US incrementó de forma significativa ( $p < 0.05$ ) el porcentaje de PA durante todos los tiempos estudiados. Al final del tratamiento (180 min), se obtuvo un porcentaje de PA para las muestras tratadas con US de  $25.32 \pm 0.86\%$  y  $22.33 \pm 1.75\%$  para ST.

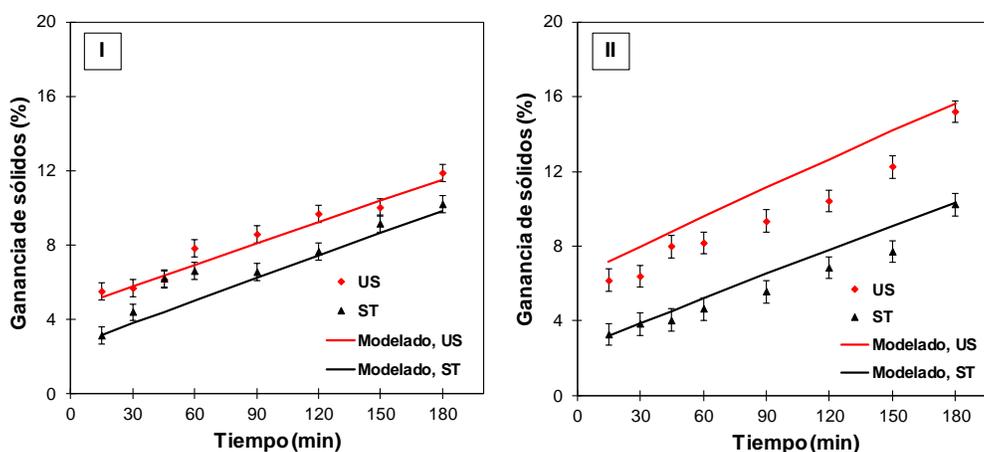
La Tabla I muestra los parámetros obtenidos por el modelo exponencial para el porcentaje de PA en papaya deshidratada osmóticamente. En términos generales, el modelo exponencial ajustó correctamente con los valores experimentales ( $R^2 > 0.98$ ).

**Tabla I.** Parámetros obtenidos por el modelo exponencial para el porcentaje de pérdida de humedad en papaya deshidratada osmóticamente. Subíndices diferentes (a y b) muestran diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%.

Tratamiento	Sacarosa		Miel de agave	
	$k_a (10^{-5}) [s^{-1}]$	$R^2$	$k_a (10^{-5}) [s^{-1}]$	$R^2$
US	$5.07 \pm 0.11_a$	0.99	$5.97 \pm 0.99_a$	0.99
ST	$3.44 \pm 0.20_b$	0.99	$3.64 \pm 0.50_b$	0.98

En el caso de los tratamientos realizados con sacarosa, la constante de la velocidad de la reacción ( $k_a$ ), relacionada con la velocidad de pérdida de humedad, resultó ser un 47% superior ( $p < 0.05$ ) para las muestras deshidratadas con la aplicación de US con respecto a la calculada para las muestras ST (Tabla I). En el caso de las muestras deshidratadas con miel de agave, el valor de  $k_a$  fue un 64% superior ( $p < 0.05$ ) para las muestras deshidratadas osmóticamente con la aplicación de US en comparación con la obtenida para las muestras ST (Tabla I).

**Ganancia de sólidos totales.** En la Fig. 2 se muestra el efecto de la aplicación de US en las cinéticas de ganancia de sólidos (GS) durante la deshidratación osmótica de papaya empleando sacarosa (I) y miel de agave (II) como agentes osmo-deshidratantes (60°Brix).



**Figura 2.** Efecto de la aplicación de ultrasonidos de potencia (20 kHz; 120 W) en el porcentaje de ganancia de sólidos en papaya durante el proceso de deshidratación osmótica con sacarosa (I) y miel de agave (II) a  $30 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Para ambos edulcorantes, el incremento del tiempo del proceso de deshidratación osmótica provocó un aumento en el porcentaje de GS. En el caso de los tratamientos con sacarosa, la aplicación de US incrementó de forma significativa ( $p < 0.05$ ) el porcentaje de GS en las muestras durante todos los tiempos analizados. Al final del tratamiento (180 min), se obtuvo un porcentaje de GS para las muestras tratadas con US de  $11.86 \pm 2.00\%$  y  $10.18 \pm 1.63\%$  para las muestras ST. Para las muestras tratadas con miel de agave, la aplicación de US incrementó de forma significativa ( $p < 0.05$ ) el porcentaje de GS durante todo el proceso. A los 180 min de tratamiento, se obtuvo un porcentaje de GS de  $15.19 \pm 2.52\%$  y  $10.23 \pm 0.95\%$  para las muestras US y ST, respectivamente.

La Tabla II muestra los parámetros obtenidos por el modelo exponencial para el porcentaje de GS en papaya deshidratada osmóticamente. En términos generales, el modelo exponencial ajustó correctamente con los valores experimentales obtenidos ( $R^2 > 0.97$ ). En el caso de las muestras tratadas con sacarosa, la constante de la velocidad de la reacción ( $k_s$ ), relacionada con la velocidad de ganancia de sólidos, resultó ser un 4% superior ( $p < 0.05$ ) para las muestras US con respecto a ST. Por otro lado,

para las muestras tratadas con miel de agave, la  $k_s$  fue un 66% superior ( $p < 0.05$ ) para las muestras US con respecto a ST.

**Tabla II.** Parámetros obtenidos por el modelo exponencial para el porcentaje de ganancia de sólidos en papaya deshidratada osmóticamente. Subíndices diferentes (a y b) muestran diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%.

Tratamiento	Sacarosa		Miel de agave	
	$k_s (10^{-5}) [s^{-1}]$	$R^2$	$k_s (10^{-5}) [s^{-1}]$	$R^2$
US	$0.78 \pm 0.17_a$	0.98	$1.28 \pm 0.26_a$	0.99
ST	$0.75 \pm 0.06_b$	0.97	$0.77 \pm 0.07_b$	0.99

Con base en los resultados obtenidos, al comparar los dos edulcorantes estudiados, la miel de agave contribuyó a intensificar los mecanismos de transferencia de materia durante deshidratación osmótica de papaya con respecto a la sacarosa. Ríos *et al.*, (2005) reportan que la velocidad de penetración de solutos en la fruta durante un proceso de deshidratación es directamente proporcional a la concentración del agente osmótico e inversamente a su tamaño molecular. Así, la fructosa (contenida en la miel de agave), al ser un soluto de menor peso y tamaño molecular en comparación con la sacarosa, puede tener una alta capacidad osmo-deshidratante. Finalmente, la aplicación de US contribuyó a intensificar los fenómenos de transporte de materia en los dos edulcorantes estudiados, siendo más pronunciados sus efectos en la miel de agave. Este efecto puede ser atribuido a los fenómenos previamente descritos tales como la cavitación, el efecto esponja y la creación de canales microscópicos sobre la fruta tratada (Shamaei *et al.*, 2011; Garcia-Noguera *et al.*, 2010).

## BIBLIOGRAFÍA

- Fernández, D., Muñiz, S., Garcia, A. & Cervantes, R. (2015). Cinética de secado de fruta bomba (*Carica papaya* L., cv. Maradol Roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 22-28.
- Garcia-Noguera, J., Olivera, F. I. P., Gallao, M. A., Waller, C. L., Rodrigues, S. & Fernandes, F. A. (2010). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology*, 28, 294303.
- Mellado-Mojica, E., & López-Pérez, M. G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. azul) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, 47(3), 233-244.
- Normas Mexicanas. NMX-F-083-1986. Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios.
- Normas Mexicanas. NMX-FF-041SCFI:07. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Papaya (*Carica papaya*). Especificaciones.
- Ochoa-Martínez, C. I. & Ayala-Aponte, A. (2007). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *CYTA-Journal of Food*, 4(5), 330-342.
- Ozuna, C., Paniagua-Martínez, I., Castaño-Tostado, E., Ozimek, L., & Amaya-Llano, S. L. (2015). Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides. *Food Research International*, 77, 685-696.
- Ríos, M. M., Márquez, C. J. & Ciro, H. J. (2005). Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. *Facultad Nacional Agraria de Medellín*, 58(2), 2989-3002.
- SAGARPA. 2017. Aumenta 30 por ciento la producción de papaya “Hecho en México” en la presente administración. México. Recuperado de: <https://www.inforural.com.mx/aumenta-30-ciento-produccion-papaya-hecho-mexico-la-presente-administracion/>. Fecha de consulta: 13/04/2019.
- Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., & López, M. G. (2017). Evaluation of Agave angustifolia fructans as fat replacer in the cookies manufacture. *LWT Food Science and Technology*, 77, 100-109.
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z. & Moini, S. (2011). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of cranberries: effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on textural properties. *Journal of Texture Studies*. (43). 133-141.