

Cinéticas de deshidratación de dos selecciones de higos (*Ficus carica* L.) por medio de secado por túnel de convección

A.C. Aguilar-Rodríguez¹, R.D. Elías-Román, A. Cerón-García¹, J. A. Gómez-Salazar¹

1. Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca. 2. Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca.

julian.gomez@ugto.mx

RESUMEN

El higo es una fruta rica en carbohidratos, fibra, agua, vitaminas y minerales. Para su conservación, el proceso de secado es una alternativa viable de bajo costo. Por ello, se estudió el secado convectivo de dos selecciones de higos (*Ficus carica* L) H y FG, a tres temperaturas (50, 70 y 85 °C). Se calculó la difusividad efectiva del agua a partir del modelo de Fick. A mayor temperatura de secado se observó una mayor deshidratación de las muestras. Las muestras de higo H presentaron una deshidratación mayor que las FG, entre 5 y 17%. El modelo de Fick se ajustó adecuadamente a los datos experimentales con coeficientes de correlación superiores a 0.95. La temperatura de secado presentó un efecto sobre el coeficiente de difusión del agua (D_e), en donde los valores de D_e aumentaron con la temperatura. Los valores de D_e para las muestras de higos estuvieron entre 0.2×10^{-9} y 9.3×10^{-9} m²/s.

Palabras clave: Modelos matemáticos, Difusión, deshidratación

ABSTRACT

The fig is a fruit rich in carbohydrates, fiber, water, vitamins and minerals. For its conservation, the drying process is used as a viable and low-cost alternative. Therefore, the convective drying of two selections of figs (*Ficus carica* L) H and FG was studied at three temperatures (50, 70 and 85 °C). The effective diffusivity of water was calculated from the Fick's model. A higher drying temperature, a greater dehydration of the samples was observed. The H fig samples showed a greater dehydration in comparison that FG, between 5 and 15%. The Fick model was satisfactorily fitted to the experimental data with correlation coefficients higher than 0.95. The drying temperature influenced the water diffusion coefficient (D_e), where the D_e values increased with temperature. The D_e values for the fig samples were between 0.2×10^{-9} and 9.3×10^{-9} m²/s.

Keywords: Mathematical models, diffusion, drying

Área: Frutas y Hortalizas

INTRODUCCIÓN

El higo (*Ficus carica* L.) o mayormente conocido en México como higuera, es originaria de la zona mediterránea de Asia y se presume como la primera planta domesticada por el hombre (Kisley, Hartmann, & Bar-Yosef, 2006).

La higuera está adaptada a diferentes climas, pero su mayor rendimiento es en climas templados (Flores Mora & Jimenez Bonilla, 2007). Los principales países productores, de acuerdo con la FAO son, Turquía, España, Grecia e Italia. En el continente americano los principales productores son Estados Unidos y Brasil (FAOSTAT, 2021).

En México existe una superficie de 840 ha plantadas, que se distribuyen entre los estados de Morelos, Hidalgo, Veracruz, Baja California Sur, Puebla y Durango (SAGARPA, 2019).

El higo es una fruta rica en carbohidratos, fibra, agua, vitaminas y minerales. Es considerado, por su alto contenido en fibra, favorable para el tránsito intestinal combatiendo de esta forma el estreñimiento. Además, también es rico en pectinas y es una fuente de compuestos fenólicos, tales como las proantocianidinas (Catraro, 2014).

Dentro de las necesidades de conservación de alimentos, la deshidratación o secado, que consiste en la remoción de parte de su agua libre, es uno de los procesos que nos permite aumentar el tiempo de utilización de los productos de una manera eficiente y minimizar las pérdidas postcosecha en el campo (Muñiz Becerá, 2013).

El secado convectivo es uno de los procesos de deshidratación más utilizados para la conservación de frutas, este secado se usa generalmente como mecanismo de transferencia de calor y aire, por lo que depende de la temperatura del aire, humedad, presión y de la superficie expuesta del alimento. Los secadores por convección son mayormente utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. Los secadores de túnel suelen ser compartimientos de bandejas que operan en serie y un ventilador extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera (Ruiz Hernández, 2016). El estudio de las cinéticas de secado es de gran utilidad para predecir las propiedades físicas de los alimentos y con ello analizar las variables que intervienen en el proceso.

El objetivo de este trabajo fue estudiar las cinéticas del proceso de secado de dos selecciones de higo (*Ficus carica* L.) y también obtener el coeficiente de difusión efectivo del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima. Las muestras de higo (*Ficus carica* L.) fueron proporcionaron por el Departamento de Agronomía de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato (Figura 1). Se utilizaron dos selecciones de higos definidas como Huimilpan= H y Barrón 1= FG. Las muestras fueron lavadas y se cortaron en láminas de 1 cm de espesor, seguido se tomó el peso total de la muestra previo al secado.

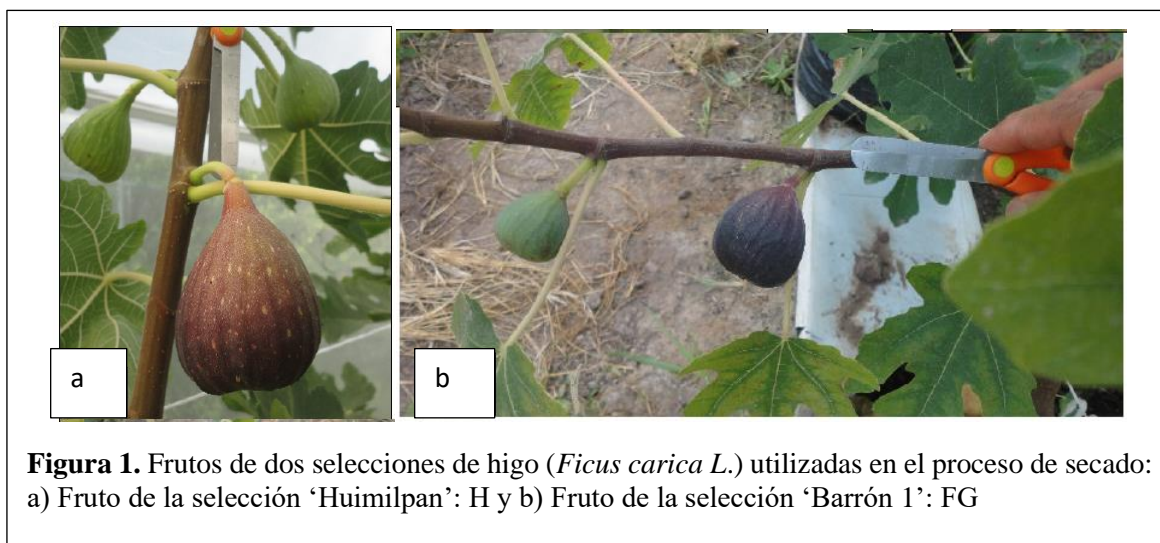


Figura 1. Frutos de dos selecciones de higo (*Ficus carica L.*) utilizadas en el proceso de secado: a) Fruto de la selección ‘Huimilpan’: H y b) Fruto de la selección ‘Barrón 1’: FG

Deshidratación por túnel. Se utilizó un secador experimental tipo túnel con una resistencia eléctrica de 2000 W, equipado con un ventilador 170W y 233 m³/h de caudal de aire. Las muestras de higo (130 g) se sometieron al deshidratado por aire caliente, en donde las cinéticas de secado se realizaron a temperaturas de 50°C, 70°C y 85°C, durante 2 horas registrando la pérdida de peso de las muestras a diferentes tiempos para posteriormente construir las curvas de secado. Para cada selección se llevó a cabo la cinética a cada temperatura por triplicado. Se determinaron las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco.

Determinación de humedad.

Se realizó a partir de 5 g muestra triturada y puesta en charolas para su secado en un horno (Shel LAB) a 103 ± 2°C hasta obtener un peso constante. Se realizó el cálculo para la determinación de humedad (AOAC, 2000)

$$M = \left(\frac{m-a}{m} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde M es el contenido de agua (g) en la muestra, m es masa de la muestra húmeda (g), y a es la masa (g) de la muestra seca

Modelos matemáticos.

Se realizó el adimensionamiento de los datos experimentales de humedad a través de la siguiente Ecuación.

$$MR = \frac{(m-m_e)}{(m_0-m_e)} \quad (2)$$

Donde, MR es la humedad relativa (adimensional); m= humedad al tiempo t, m₀= humedad inicial me= humedad en equilibrio.

Se utilizó el modelo de Peleg, para determinar el contenido de humedad en equilibrio (McMinn et al., 2007). La ecuación de Peleg (1988) corresponde a:

$$m = m_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (3)$$

Siendo k_1 la constante de velocidad y k_2 la constante de capacidad (Corzo, O; et al, 2008).

Finalmente, para el cálculo de la difusividad de la humedad se utilizó la ecuación de difusión de la segunda ley de Fick (ecuación 4) para geometrías en forma de lámina. Los cálculos se realizaron por triplicado para cada una de las temperaturas de secado.

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(2n+1)^2}\right) \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

Donde D_{eff} es la difusividad de humedad efectiva (m^2/s), t es el tiempo (s), L el espesor medio de la muestra (m) y n es el número de las medidas.

Análisis estadístico.

Se realizó un ANOVA para determinar el efecto de la temperatura de secado sobre los coeficientes de difusividad del agua. Se realizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 % para cada análisis estadístico realizado. Los datos fueron analizados utilizando el software Statgraphics Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinéticas de Secado

Respecto al contenido de humedad inicial (M) en las muestras este fue de $82.7 \pm 1.5\%$, este valor fue ligeramente mayor al reportado por Martínez-García et al. 2013, con un valor de $78.06 \pm 0.4\%$. Respecto

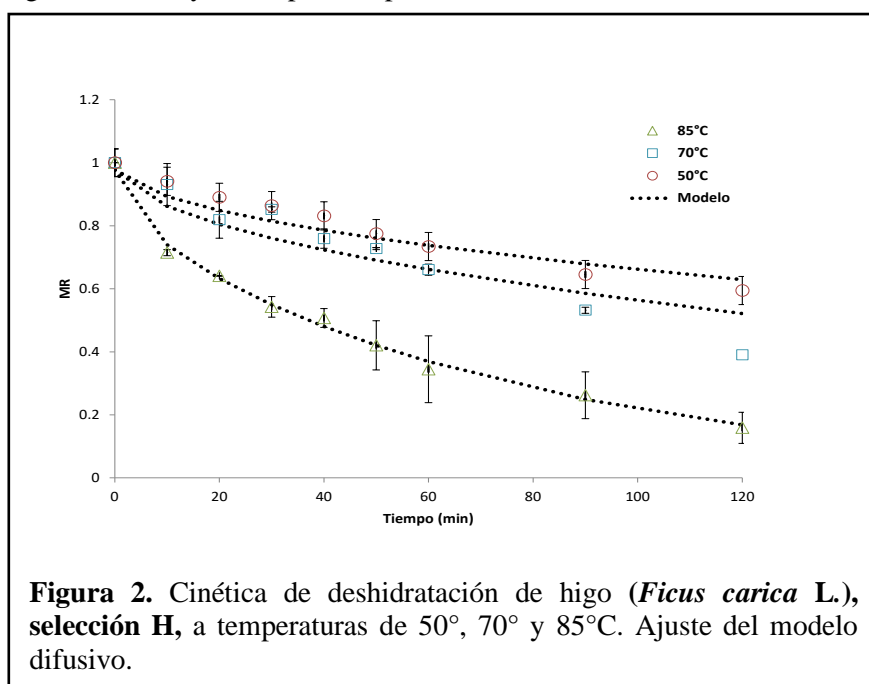


Figura 2. Cinética de deshidratación de higo (*Ficus carica L.*), selección H, a temperaturas de 50°, 70° y 85°C. Ajuste del modelo difusivo.

a la concentración de equilibrio de humedad (m_e), el valor calculado por medio del modelo de Peleg fue de 25.9%. En las Figuras 2 y 3 se muestra la humedad adimensional de las muestras durante cada tiempo de secado (cinéticas de deshidratación) para las selecciones de higo (*Ficus carica L.*) muestras H y FG, a temperaturas de 50, 70 y 85°C. A mayor temperatura de secado se presenta una mayor deshidratación de las muestras. Este comportamiento cinético

es común para este tipo de muestras, en donde al inicio del proceso se acelera la pérdida de agua y al final es más lento el proceso de transferencia de masa (Sharma et al., 2011, Martínez-García *et al.* 2013, Piga *et al.* 2004). Se observó una mayor deshidratación de las muestras a la temperatura de 85°C.

Al comparar las cinéticas para ambas selecciones de higos se observa una mayor deshidratación de las muestras de la selección H que en las FG, con valores de 0.59, 0.39 y 0.15, a temperaturas de 50, 70 y 85°C, respectivamente para la selección H, mientras que para FG fueron 0.88, 0.46 y 0.20. En promedio al final del proceso la selección H perdió entre 5 y 29% de agua más que la selección FG. Estos resultados pueden atribuirse al grosor de la piel de las dos selecciones, en donde un mayor grosor presenta mayor barrera a la salida del vapor de agua durante el secado (Piga *et al.* 2004).

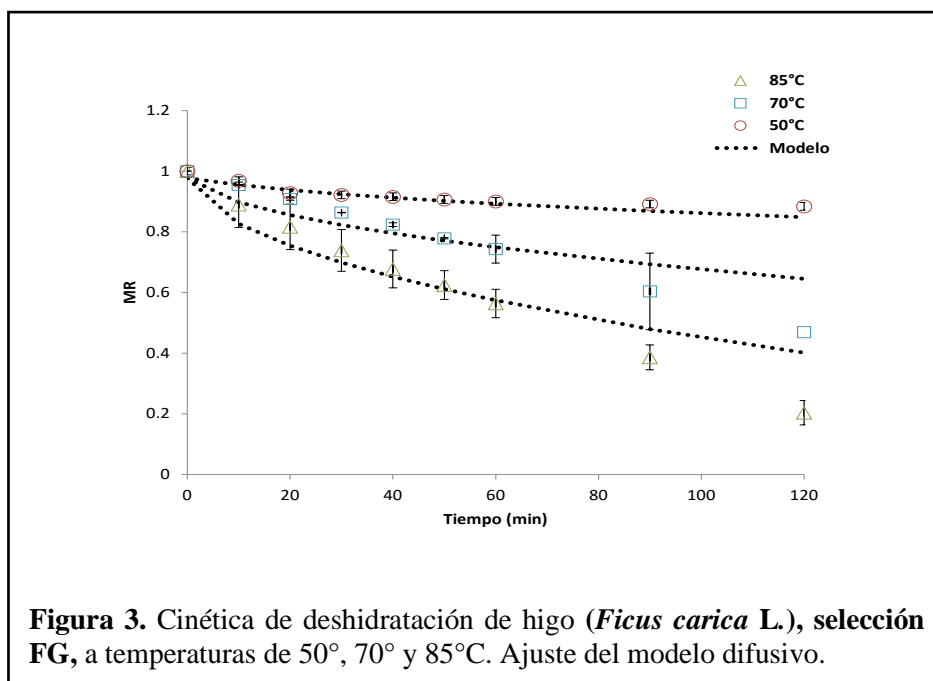


Figura 3. Cinética de deshidratación de higo (*Ficus carica L.*), selección FG, a temperaturas de 50°, 70° y 85°C. Ajuste del modelo difusivo.

Se observó un adecuado ajuste del modelo a los datos experimentales, según el coeficiente de correlación R² (selección H, R²=0.9984, para la especie FG, R²=0.9928).

Cálculo de coeficiente de difusión.

En la tabla I se muestran los valores del coeficiente de difusión (De) del agua para las selecciones de higos deshidratadas a diferentes temperaturas.

Tabla I. Valores del coeficiente de difusión del agua para las selecciones de higo (<i>Ficus carica L.</i>). Selección H y FG.		
Temperatura (°C)	Coeficiente De X10 ⁻⁰⁹ (m ² /s) selección H	Coeficiente De X10 ⁻⁰⁹ (m ² /s) selección FG
50	1.5 ±0.3 ^a	0.2 ±0.01 ^a
70	2.5 ±0.06 ^b	1.4 ±0.12 ^b
85	9.3 ±0.3 ^c	4.1 ±0.6 ^c

Letras diferentes en columnas son estadísticamente diferentes (P <0.05).

Se observó un efecto significativo de la temperatura de secado sobre la difusión del agua en las muestras de higo. A mayor temperatura se presentó una mayor salida del agua. Al comparar los valores del coeficiente de difusión, la selección H presentó mayores valores en comparación de la selección FG, lo cual es acorde a las cinéticas obtenidas (Fig 2 y 3). Los valores de D_e fueron similares a los obtenidos por Martínez-García *et al.* 2013, quienes reportaron valores entre 2.08 y 5.15×10^{-10} en el secado de higo cortado y triturado.

Aunque en el presente estudio se observa un claro efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante el secado, es fundamental realizar nuevas investigaciones en donde se aumente la temperatura de secado, exista variación de la velocidad de secado y diferente espesor de la muestra a secar, con el fin de observar el efecto de dichos parámetros en las cinéticas de secado y optimizar el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Catraró, M. A. (2014). El cultivo de la Higuera: producción de higos y su deshidratación como método para el agregado de valor al producto. Obtenido de Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Litoral.:
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/663/TFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corzo, O; Ramírez, O; Branch, N. Aplicación del modelo de Peleg en el estudio de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de láminas de mamey (*Mammea americana L.*). SABER. Revista Multidisciplinaria del consejo de investigación de la universidad de Oriente, vol. 20, num. 1, enero-abril, 2008, pp.87-95. Universidad de Oriente. Cumana, Venezuela.
- FAOSTAT. (2021). Obtenido de <http://faostat3.fao.org/>
- Flores Mora, D., & Jimenez Bonilla, V. (2007). Desarrollo del cultivo de higo para consumo fresco y procesado, como una alternativa de diversificación para el sector agrícola. Obtenido de <http://frutales.files.wordpress.com/2011/01/h-04-desarrollo-del-cultivo-del-higo1.pdf>
- Kisley, M., Hartmann, A., & Bar-Yosef, O. (2006). Early domesticated fig in the Jordan. *Science*, 312, 1372-1374.
- Martínez-García, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., Ramírez-Baca, P., Candelas-Cadillo, M. G., & González-Laredo, R. F. (2013). Drying Parameters of Half-Cut and Ground Figs (*Ficus carica L.*) var. Mission and the Effect on Their Functional Properties", *Journal of Engineering*, <https://doi.org/10.1155/2013/710830>
- McMinn, W. A. M., McLoughlin, C. M. & Magee, T. R. A. 2005. Thin-layer modeling of microwave, microwave-convective, and microwave-vacuum drying of pharmaceutical powders. *Drying Technology*, 23(3), 513-532
- Muñiz Becerá, S. H. (2013). Empleo del método de secado convectivo combinado para la deshidratación de papaya (*Carica papaya L.*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 31-37.
- Piga, A., Pinna, I., Özer, K.B., Agabbio, M., Aksoy, U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica L.*): drying kinetics and quality loss. *Int. J. Food Sci. Technol.* 39, 793-799
- Ruiz Hernández, M. Y. (2016). Secado convectivo de fresa y su efecto en la actividad antioxidante. Instituto Politécnico Nacional.

SAGARPA (2019). *Higo, fruto de gran historia presente en nuestra canasta de dulces tradicionales*.
Obtenido: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/higo-fruto-de-gran-historia-presente-en-nuestra-canasta-de-dulces-tradicionales?idiom=es>

Sharma, S. R., Arora, S., & Chand, T. (2011). Air drying kinetics of pomegranate seeds,” *International Journal of Food Engineering*, 7 (2), article 7.