

## **Cinética de deshidratación de rebanadas de zanahoria (*Daucus carota*) y calabaza (*Curcubita pepo*) con aire caliente**

C. M. Gallardo-Arroyo, J. A. Gómez-Salazar y M. E. Sosa-Morales

Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca. [msosa@ugto.mx](mailto:msosa@ugto.mx)

**RESUMEN:** El secado de alimentos es un método de conservación de suma importancia, por lo que sigue siendo pertinente el estudio de esta operación. Existen diferentes métodos de secado, entre ellos, con aire caliente, el cual se lleva a cabo en un túnel o por lecho fluidizado. También existe el secado por radiación, con lámpara infrarroja, solar o asistido con microondas. En este trabajo se estudió el secado en túnel con temperaturas de 85, 90 y 95 °C con el propósito de evaluar las variables e identificar las mejores condiciones para deshidratar zanahoria y calabaza. Se calculó el coeficiente de difusión, aplicando la ley de Fick. Para zanahoria se obtuvieron coeficientes entre  $1.45 \times 10^{-10}$  y  $1.46 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, mientras que en el caso de la calabaza, el coeficiente difusional estuvo en el rango de  $2.6 \times 10^{-10}$  a  $4.6 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Por otro lado, el cálculo de la energía de activación del proceso de secado de calabaza y zanahoria fue de 187 y 78 kJ/mol respectivamente, valores mayores comparado con otros reportes.

**Palabras Claves:** Zanahoria, calabaza, deshidratación, secador de túnel.

**ABSTRACT:** Drying is a food preservation method of great importance, its study is still relevant. There are different methods of drying, including hot air, which is carried out in a tunnel or by fluidized bed. There is also radiation drying, with infrared lamps, solar or microwave-assisted process. In this work, tunnel drying at temperatures of 85, 90 and 95 °C was studied in order to evaluate the variables and identify the best conditions to dehydrate carrots and zucchini. The diffusion coefficient was calculated, by applying Fick's law. For carrots, coefficients resulted between  $1.45 \times 10^{-10}$  and  $1.46 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, while for zucchini slices, the coefficient had values from  $2.6 \times 10^{-10}$  to  $4.6 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. On the other hand, the calculation of activation energy for the drying process was 187 and 78 kJ/mol for zucchini and carrots, respectively, these values were higher compared with other reports.

**Keywords:** Carrot, pumpkin, dehydration, tunnel dryer.

**Área:** Frutas y hortalizas

### **INTRODUCCIÓN**

Se conoce como secado o deshidratación al proceso de evaporación de agua en los alimentos. La deshidratación es uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos, también es uno de los más utilizados en la actualidad por el bajo costo de operación que representa. En la antigüedad, este método se llevaba a cabo únicamente por la radiación solar y aunque todavía se sigue utilizando, los avances tecnológicos permiten tener túneles u hornos de secado donde se tiene una corriente de aire. Otros métodos novedosos del secado incluyen radiación, como el infrarrojo (usando lámparas que emiten en esas longitudes de onda). Estos métodos más nuevos hacen más eficiente este proceso, permite obtener productos de mejor calidad e inoocuos, pero sacrifica lo económico del método antiguo. Gracias a esta operación se consigue aumentar la vida útil del alimento, generalmente, frutas, semillas y cereales, ya que se consigue disminuir notablemente la cantidad agua libre contenida en los alimentos y así evitar la proliferación de microorganismos que descompongan y dañen la calidad de nuestros alimentos (Cortés Rodríguez, Cabrebra Ordoñez, & Rodrigo Ortega, 2018).

Tan solo en 2017, México exportó la tercera parte de su producción total anual de zanahoria (334000 ton), siendo Estados Unidos de América el mayor comprador, con una venta estimada de más de 38 millones de dólares en ese año. De los 19 estados con territorio destinado a la producción de esta raíz destacan Guanajuato, Puebla y Zacatecas, quienes generan el 65% del volumen nacional (Inforural, Inforural, 2018). Como bien se sabe, la zanahoria ayuda a prevenir la pérdida de la vista gracias a que

es rica en vitamina A, además contiene fibra, vitamina K, potasio, ácido fólico, manganeso, fósforo, magnesio, vitamina E, zinc y Beta-Caroteno, un potente antioxidante que ayuda a prevenir enfermedades cancerígenas reduciendo los radicales libres en el organismo (Inforural, 2015).

México es el séptimo productor de calabaza a nivel mundial produciendo 442 mil toneladas al año, se cultiva por todo el territorio mexicano pero Sonora, Puebla y Michoacán son los mayores productores (BAYER, 2018). El consumo de calabaza ayuda a mejorar la digestión, retrasar el envejecimiento, disminuir el contenido de azúcar en la sangre, mejorar la circulación sanguínea gracias a que tiene un alto contenido en fibra, agua, electrolitos, antioxidantes y bajo en sodio (Quillin, 2018).

El objetivo de presente trabajo fue deshidratar rebanadas de calabacita y de zanahoria, usando el método de secado con aire caliente en túnel, el cual es un método de bajo costo. La deshidratación se realizó a diferentes temperaturas para conocer la difusión del proceso y su energía de activación.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Materia prima:** La calabaza (*Cucurbita pepo*) y zanahoria (*Daucus carota*) se adquirieron de la Central de Abastos de Irapuato, Gto. Se les realizó una inspección visual para asegurar que cuenten con madurez comercial y calidad óptima. Se lavaron y posteriormente se cortaron en rodajas, para el caso de la zanahoria de 1.9 mm de grosor y 40 mm de diámetro mientras que para la calabaza 3 mm de grosor y 40 mm de diámetro.

**Contenido de humedad:** Se determinó mediante el procedimiento descrito en la NMX-F-083-1986.

**Escaldado:** El escaldado de las rodajas de zanahoria y calabaza con tiempo y temperatura de 85°C, 5 min y 80°C 3 min, respectivamente.

**Deshidratado en túnel:** Se utilizó un secador experimental tipo túnel con una resistencia eléctrica de 2000 W, equipado con un ventilador 170W y 233 m<sup>3</sup>/h de caudal de aire. Las muestras de zanahoria y calabaza se sometieron al deshidratado por aire caliente a temperatura de 85, 90 y 95°C. Se midió la velocidad del aire con un anemómetro digital (modelo TA3, AIRFLOW, China). El peso de la muestra se registró cada 3 min en el lapso de una hora. El proceso se realizó por duplicado.

**Cinéticas de secado:** Con los datos recopilados de la etapa experimental se realizaron las curvas de secado para cada muestra en las diferentes condiciones de estudio.

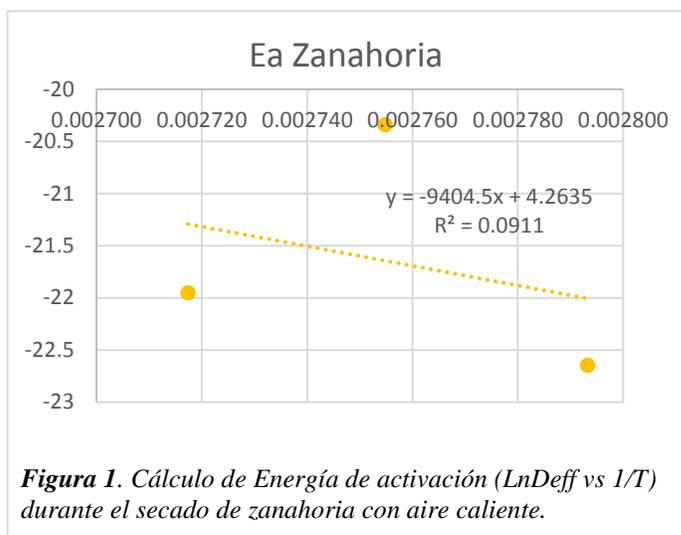
**Cálculo de Coeficiente Difusión:** Se obtuvo el valor adimensional de la humedad dividiendo gH<sub>2</sub>O/gSS para después graficar el tramo de los puntos donde el decremento es constante contra el tiempo (s) y obtener una pendiente que se utilizará en el cálculo de *Deff*

$$Deff = \frac{Pendiente(4)(L^2)}{\pi^2}; \text{ donde } L=0.5(\text{espesor}).$$

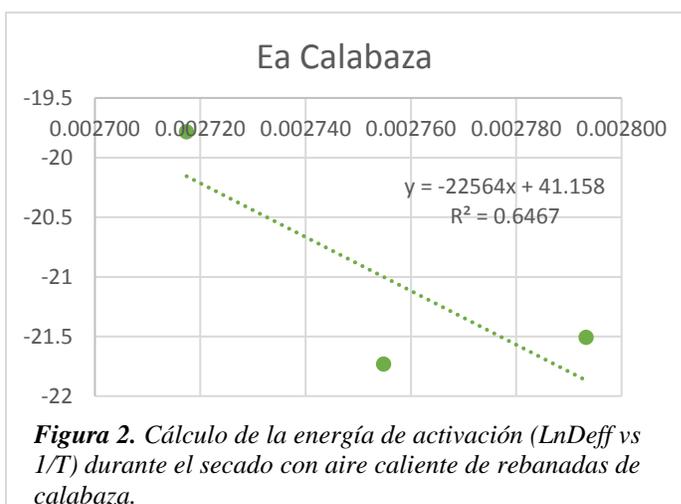
**Cálculo de Energía de Activación:** Se debe calcular el *Deff* de cada producto para cada variable y calcular la media de los duplicados. Después calcular el  $\ln(Deff_{promedio})$  y graficar contra el inverso de la temperatura absoluta  $\frac{1}{K}$ . Se aplicó una regresión lineal de la gráfica para obtener la pendiente, la cual fue multiplicada por la constante de los gases  $R= (8.3143 \text{ J/mol})$  para obtener la energía de activación del proceso.

$$Ea = Pendiente \times R$$

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 1.** Cálculo de Energía de activación ( $\ln Deff$  vs  $1/T$ ) durante el secado de zanahoria con aire caliente.



**Figura 2.** Cálculo de la energía de activación ( $\ln Deff$  vs  $1/T$ ) durante el secado con aire caliente de rebanadas de calabaza.

El coeficiente de difusión de la zanahoria estuvo en el rango de  $1.45 \times 10^{-10}$  y  $1.46 \times 10^{-9}$   $m^2/s$  siendo menor al reportado por Doymas *et al.*, (2004), con un valor de  $Deff = 9.335 \times 10^{-9}$   $m^2/s$  para cubos de zanahoria. Por otro lado, el  $Deff$  de la calabaza ha sido reportado con un valores de  $0.58$  a  $1.93 \times 10^{-9}$   $m^2/s$  por Kutlu e Isci (2017) para rodajas de calabaza con espesores de 5 y 10 mm, secadas a 60, 70, y 80°C, siendo mayor al encontrado en el presente estudio, con un rango  $2.6 \times 10^{-10}$  a  $4.6 \times 10^{-10}$   $m^2/s$ . Las diferencias de se deben al grosor de la muestra usada y a las temperaturas de secado.

Por otro lado, para la zanahoria se obtuvo  $Ea = 78.19$  kJ/mol siendo un valor mayor al reportado por Berruti *et al.*, (2008) con un valor de  $Ea = 31.76$  kJ/mol para zanahoria deshidratada en un túnel de aire a 0.5, 0.625, 0.75 y 0.95 m/s. La velocidad del flujo de aire afectó los resultados obtenidos.

Para el caso de calabaza, la energía de activación calculada fue de 187.60 kJ/mol para muestras de 3 mm de espesor, mientras que Kutlu e Isci (2017) reportan 32.58 y 36.55 kJ/mol para sus muestras de 5 mm y 10 mm, respectivamente, y que además las compara con otros autores que obtuvieron resultados similares.

El secado con aire se sigue manteniendo

como un método adecuado para la deshidratación de alimentos. En este caso, fue adecuado para rebanadas de zanahoria y calabacita, para lo que se procederá a evaluar su aceptabilidad y textura.

## BIBLIOGRFÍA

- Bayer. (12 de Abril de 2018). *Hablemos del campo*. Obtenido de <https://www.hablemosdelcampo.com/como-el-marketing-duplico-la-venta-%E2%80%A8de-calabazas-mexicanas-en-el-mundo/>
- Cortés Rodríguez, M., Cabrebra Ordoñez, Y. A., & Rodrigo Ortega, T. (2018). EFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE UCHUVA ADICIONADA CON COMPONENTES FISIOLÓGICAMENTE ACTIVOS Y DESHIDRATADA POR AIRE CALIENTE. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 427-437.
- Berruti, M. C. (2009). Model for convective drying of carrots for pyrolysis. *Journal of Food Engineering*, 196-201.
- Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 359-364.
- Inforural. (21 de Julio de 2015). Obtenido de <https://www.inforural.com.mx/zanahoria-una-de-las-mejores-defensas-contra-el-cancer/>
- Inforural. (5 de Diciembre de 2018). *Inforural*. Obtenido de <https://www.inforural.com.mx/mas-de-38-mdd-genero-la-exportacion-de-zanahoria-en-2017/>

- Iscia, N. e Isci, A. (2017). Drying Characteristics of Zucchini and Empirical Modeling of Its Drying Process. *International Journal of Food Studies* , 232–244.
- Quillin, P. (25 de Julio de 2018). *Foodrevolution.org*. Obtenido de <https://foodrevolution.org/blog/zucchini-benefits/>
- SEDESOL. (Noviembre de 2015). *SEDESOL*. Obtenido de <http://www.sedesol.gob.mx/en/SEDESOL/InformativoSINHAMBRE>
- UNAM. (2015). *Guia industrial*. Obtenido de [www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/disenoinfo/6/1.htm](http://www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/disenoinfo/6/1.htm)
- USDA. (Abril de 2018). *USDA DATA BASE*. Obtenido de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11477?man=&lfacet=&count=&max=25&qlookup=zucchini+raw&offset=&sort=default&format=Abridged&reportfmt=other&rptfrm=&ndbno=&nutrient1=&nutrient2=&nutrient3=&subset=&totCount=&measureby=&Qv=0.13&Q327992=1&Q327993=1&Q32>