

Cinética de secado de *Moringa oleifera*

Roilan Iglesias Díaz^{1§}
Rosa Virginia Grimaldi Gutiérrez¹
Blanca Edith Villanueva Galindo¹
Juana María Hernández Jarquín¹
Pascual López de Paz¹
Orlando Lastres Danguillecourt¹

¹Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables-Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente núm. 1150, edificio 24. Ciudad Universitaria, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. CP. 29039. Tel. 6170440, ext. 4290. (vocky2731@gmail.com; edith.vigal@hotmail.com; juanamariajarquin@hotmail.com; pascual.lopez@unicach.mx; orlandolastre@yahoo.es).

§Autor para correspondencia: roilan2008@hotmail.com.

Resumen

Actualmente en varios puntos de México, como en los municipios de Tuzantla, Múgica, Uruapan, Michoacán; Monterrey, Nuevo León, Torreón, Coahuila, Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo, estos dos últimos en el estado de Chiapas, existen plantaciones de árboles de *Moringa oleifera* con fines comerciales; sin embargo, los productores no han encontrado un procedimiento adecuado que contribuya a mejorar la calidad final de dicha planta. El objetivo fue encontrar un proceso de secado adecuado para este producto, para lo cual se estudiará su cinética de secado. La moringa se secó en un secador solar híbrido a diferentes temperaturas (40 °C, 50 °C y 60 °C) durante el mes de mayo, registrando la pérdida de masa y determinando la humedad libre para cada temperatura, a través de la balanza analítica Velab VE-24 y termo-balanza Velab VE-50-5. Las curvas se obtuvieron del análisis y procesamiento de los datos experimentales a través de un programa elaborado en Matlab y se determinó cuál de los modelos matemáticos seleccionados (Newton, Page, Henderson y Verma) se ajustó mejor a ellos. Determinándose que el modelo Page, es el que mejor describe la cinética de secado de la moringa. Se calcularon por este caso el coeficiente de difusión y la energía de activación. Por último, se evaluó la calidad organoléptica del producto comparándolo con otras muestras comerciales de moringa, mediante la aplicación de encuestas. Las curvas de secado muestran una disminución del tiempo de secado cuando la temperatura aumenta, lo que resulta una mejor calidad del producto seco. Las muestras que se secaron a 60 °C mostraron tener mejores características de color, sabor, olor y textura de acuerdo con la evaluación organoléptica.

Palabras clave: cinética de secado, moringa, secador solar híbrido.

Recibido: febrero de 2018

Aceptado: abril de 2018

Introducción

La *Moringa oleifera* es la especie más ampliamente cultivada del género moringa, siendo la única del género de la familia Moringaceae según Quattrocchi (2000) es considerado uno de los árboles más útiles del mundo, se puede utilizar como alimento o para aplicaciones medicinales por ser una importante fuente de caroteno, vitamina C, proteínas, hierro, potasio, calcio y fósforo. De acuerdo con Olson (2011) dicha planta comúnmente se seca, se tritura y se almacenan sin refrigeración durante meses sin pérdida de valores nutricionales. Con un valor nutritivo tan poderoso, estas hojas podrían evitar el azote de desnutrición y otras enfermedades relacionadas (Mathur, 2005). Por los beneficios que ofrece la moringa, resulta importante su conservación postcosecha mediante el secado, lo cual le permite ser comercializada en lugares donde no se cultivan.

El secado es una de las técnicas más antiguamente utilizadas para la conservación de alimentos desde los principios de la humanidad ya que proporciona la posibilidad de subsistencia en épocas de carencia Fito *et al.* (2001). Aunque el secado natural es el más económico, presenta algunas limitaciones. En condiciones normales tarda de dos a tres días; sin embargo, en épocas de baja radiación solar y de lluvias el tiempo de secado se prolonga a 5 días o más, además el producto puede ser afectado negativamente por agentes biológicos. Debido fundamentalmente a estas desventajas es recomendable considerar el empleo de secadores solares.

De acuerdo con Heldman y Lund (2007) el secado se define como la remoción de humedad debido a la transferencia simultánea de calor y masa. Asimismo, Sharma *et al.*, (2003) señalan que la cinética de secado de alimentos es un complejo fenómeno y requiere modelos fiables para predecir dicho proceso. Según Andrade *et al.* (2003) estos modelos son herramientas útiles para estimar el tiempo necesario para reducir el contenido de agua del producto en diferentes condiciones y la temperatura idónea, mejorando así la eficiencia del proceso. Midilli *et al.* (2002) describen diversos modelos matemáticos para la cinética de secado de productos agrícolas. Hasta ahora, no se han realizado estudios de cinética de secado de *Moringa oleifera*, es por ello que esta investigación se enfoca al estudio de la cinética de secado de dicha planta.

Materiales y métodos

Las hojas de *Moringa oleifera* se obtuvieron de plantíos de un rancho hidropónico ubicado en la ciudad de Chiapa de Corzo, Chiapas, el cual se comercializan capsulas de moringa seca, sometiendo a dicha planta a un proceso de secado tradicional o natural.

Después se trasladó la planta a los laboratorios del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables (CIDTER) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), se procedió a realizar una selección microbiológica de las hojas, lavarlas, removerle el exceso de agua y finalmente someterlas al proceso de deshoje. Se elaboraron charolas de papel aluminio, taradas en una balanza analítica marca Velab, modelo VE-24, en ella también se pesaron las hojas de moringa obteniéndose muestras entre 9 y 10 gramos aproximadamente, que fueron colocadas en las charolas.

Equipo de secado

El proceso de secado se realizó en un secador solar híbrido (Figura 1), que tiene la particularidad de mantener la temperatura de la cámara constante. Presenta para ello un sistema de calentamiento de agua constituido de dos colectores solares heat pipe, un termo-tanque, un intercambiador de calor colocado en el interior de la cámara de secado y una bomba que recircula el agua entre el termo-tanque y el intercambiador de calor. Además, cuenta con un generador eólico de respaldo para recargar un banco de baterías que se descargan a través de resistencias eléctricas colocadas en la cámara. También la cámara tiene un ventilador para la recirculación de aire y un extractor de aire para remover el aire húmedo desde dentro de la cámara hacia el ambiente.

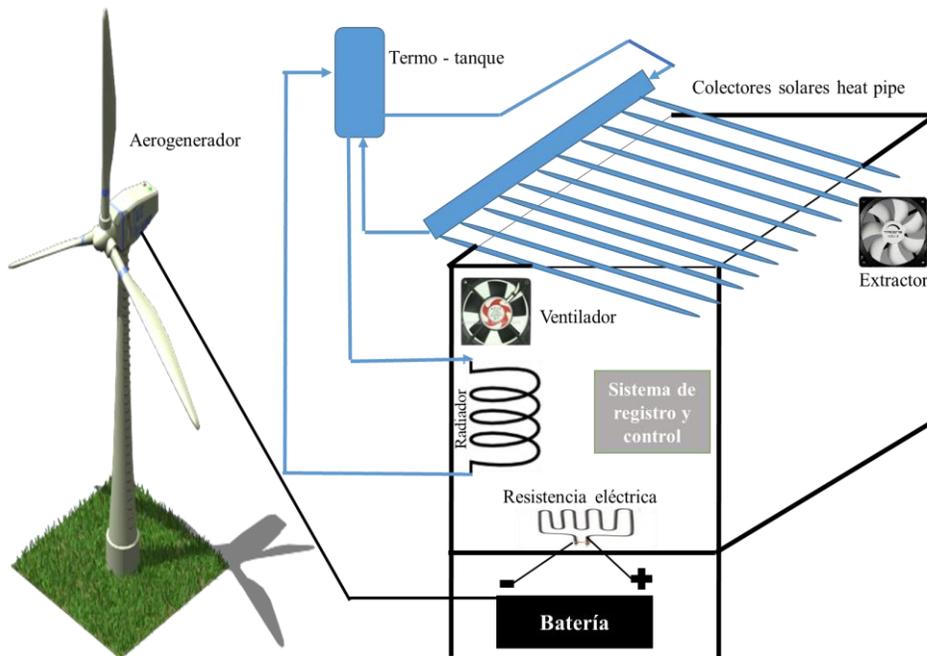


Figura 1. Secador híbrido solar eólico para la deshidratación de productos agropecuarios.

Proceso de secado

El secador cuenta además con un sistema de registro y control de datos donde se monitorean y registran en una tarjeta SD los valores de temperatura y humedad del aire en la cámara y la temperatura del agua del termo-tanque. Los experimentos del secado de las hojas de moringa se realizaron a 40 °C, 50 °C y 60 °C. Para determinar la humedad inicial de la muestra de moringa, se empleó una termo-balanza marca Velab, modelo VE-50-5.

Se prepararon cuatro muestras de *Moringa oleifera* para cada experimento. Dichas muestras se colocaron dentro de la cámara de secado (previamente calentada a temperatura de estudio constante). Durante el secado se registraron las variaciones de la masa de la moringa cada 30 min hasta que esta fuera mínima o nula.

Determinación de humedad y velocidad de secado

Para la obtención de las curvas de secado y de velocidad de secado se utilizó el método de Geankoplis (1983), determinándose el contenido de humedad en base seca en cada instante (X_t) según la ecuación (1).

$$X_t = \frac{M_t - F_s}{F_s} \quad 1)$$

Donde: M_t = es la masa del material húmedo en kg; F_s = es la masa del producto seco en kg; X_t = humedad base seca en kg de agua/kg de sólido seco.

Con el por ciento de humedad de equilibrio del producto (X_{eq}), se puede calcular por la ecuación 2 el valor de la humedad libre (X) en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de X_t . Esta (X) es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en las condiciones establecidas.

$$X = X_t - X_{eq} \quad 2)$$

En relación con lo anterior, se calculó la velocidad de secado mediante la ecuación (3), donde: A = área de secado en m^2 y F_s = peso en kg de los sólidos secos.

$$R = \frac{F_s}{A} \left(\frac{dX}{dT} \right) \quad 3)$$

Modelación matemática de las curvas de secado

Para el modelado de la cinética de la *Moringa oleifera* se ajustaron modelos matemáticos a los datos experimentales, siendo los de Newton, Page, Henderson y Verma (Cuadro 1) los seleccionados ya que son los que más caracterizan la cinética de secado de plantas nutrimentales y medicinales (Corrêa *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Lista de modelos utilizados y sus referencias.

Nombre del modelo	Modelo	Referencia
Newton	$X_a(t) = \exp(-kt)$	Mujumdar (1987)
Page	$X_b(t) = \exp(-kt^n)$	Diamante and Munro (1993)
Henderson	$X_c(t) = a \exp(-kt^n)$	Henderson and Pabis (1961)
Verma	$X_e(t) = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma <i>et al.</i> (1985)

Mediante un programa elaborado en Matlab, cuyo funcionamiento se describe en la Figura 2, permitió encontrar el modelo que mejor describe el comportamiento de su cinética de secado, utilizando el coeficiente de correlación (R^2) como principal criterio para seleccionar el de mejor ajuste.

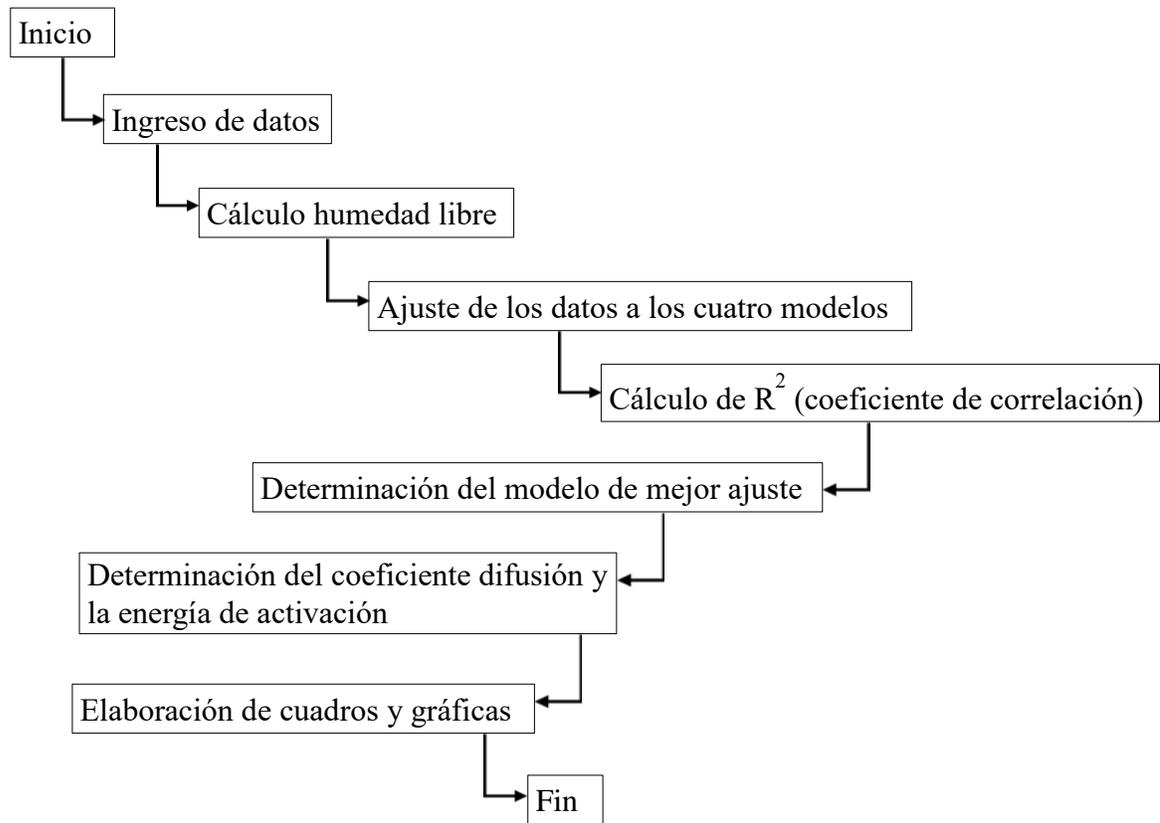


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso realizado por el Software.

Determinación del coeficiente de difusión (D_{ef})

El coeficiente de difusión (D_{ef}) es una difusividad efectiva cuyo valor es calculado a través del modelo matemático ajustando los valores experimentales. Puede entenderse como la facilidad con que el agua es removida del material, esta varía conforme cambia las condiciones de secado (temperatura y velocidad del aire), no es intrínseca al material (Giraldo y Arévalo, 2010). Los valores del coeficiente de difusión se obtuvieron a través de la correlación logarítmica de los datos experimentales ($\ln(X)$) y mediante los coeficientes obtenidos del modelo de mejor ajuste.

Para el cálculo de la difusividad efectiva se usó la ecuación de Fick para geometría laminar en una dirección.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \tag{4}$$

Donde: X = contenido de humedad libre; t = tiempo (h); x = dimensión característica (m); D_{ef} = coeficiente de difusión ($m^2 s^{-1}$).

Según Da Rocha *et al.*, 2012 la solución de la ecuación de Fick para la geometría de a moringa (lamina) y utilizándose ocho términos de serie es.

$$X = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{h_n^2} e^{\left(\frac{-h_n^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right)}; \quad h_n = 2n-1 \quad (5)$$

Se supuso que el primer término de la sumatoria es el único que tiene significación, así que para $n=0$, la ecuación resultante queda así:

$$X = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right) \quad (6)$$

Mediante la regresión lineal, se obtienen los valores de los parámetros asociados con la mejor curva de ajuste, para los datos experimentales de humedad libre X . Las variables X y t presenta una dependencia de forma exponencial, es necesario ajustarla como sigue.

$$X = a \exp(-kt) \quad (7)$$

Mediante una transformación lineal, aplicando logaritmos neperianos se obtiene una ecuación lineal:

$$\ln(X) = \ln(a) + (-kt) \quad (8)$$

Por analogía a la ecuación de una recta $y=A+Bx$ se tiene que:

$y = \ln(X)$; $A = \ln(a)$, $Bx = -kt$, $B = -k$ y $x = t$. Para el caso de la ecuación 8 y 9, se tiene que $a = \frac{8}{\pi^2}$ y $k = -\frac{\pi^2}{4L^2} D_{ef}$. De la pendiente B de la recta del $\ln(X)$ contra tiempo, se tiene que el coeficiente de difusión D_{ef} es:

$$B = \frac{\pi^2}{4L^2} D_{ef}, \text{ despejando se obtiene, } D_{ef} = \frac{k \cdot 4L^2}{\pi^2} \quad (9)$$

Energía de activación

La energía de activación representa la energía requerida para iniciar la difusión de la humedad durante el secado y da un indicio de la influencia de la temperatura en el proceso, la cual puede describirse por la ecuación (10) de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (10)$$

En la que E_a es la energía de activación ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), T es la temperatura absoluta del aire de secado (K) D_0 es el factor de Arrhenius $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ y R es la constante universal de los gases ($8.314 \text{ kJ mol}^{-1}$).

Mediante la regresión exponencial se obtiene la energía de activación como sigue.

$$\ln(D_{ef}) = \ln(D_0) + \left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (11)$$

Por analogía a la ecuación de la recta $Y=A+BX$ se obtiene que:

$$Y= \ln(D_{ef}), \quad A= \ln(D_o); \quad Bx= \left(\frac{E_a}{RT}\right); \quad B= \frac{E_a}{R}, \quad X= \frac{1}{T} \quad 12)$$

$$D_o= \exp(A) \quad 13)$$

$$E_a= -B \cdot R \quad 14)$$

Donde: A representa el intercepto y B la pendiente de la ecuación lineal $Y=A+BX$. Para la obtención de la energía de activación, se determinó el $\ln(D_{ef})$ y se gráfica la relación del tipo Arrhenius $\ln(D_{ef})$ respecto al inverso de la temperatura absoluta del aire de secado $1000/T$, empleando los valores de la pendiente (B) obtenidos a partir de dicha gráfica.

Evaluación sensorial descriptiva de la moringa

Por ser este un producto nuevo se evaluó el nivel de preferencia y aceptabilidad usando este método por ser fácil y rápido de procesar y analizar. Para lo cual se encuentran a 50 individuos para establecer no solo la diferencia entre muestras sino la magnitud de la misma. Estas encuestas permitieron determinar el nivel de aceptabilidad en sabor, textura, olor y color de las muestras. (Liria, 2007). Todo esto en colaboración con la Escuela de Nutrición de la UNICACH.

Resultados y discusión

La *Moringa oleifera* presentó una humedad inicial de 70.3%. En el Cuadro 2 se presenta el tiempo de secado y la humedad libre para las temperaturas de estudio. Estos resultados coinciden con la relación entre temperaturas elevadas y menores tiempos de secado.

Cuadro 2. Tiempo de secado y humedad libre de la moringa para las tres temperaturas.

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Humedad de libre (kg de agua/kg de solido seco)
40	6:30	0.13
50	4:00	0.02
60	2:15	0.12

En las Figura 3 y 4 se muestran las curvas de variación del por ciento de humedad y de velocidad de secado para las tres temperaturas de estudio respecto al tiempo.

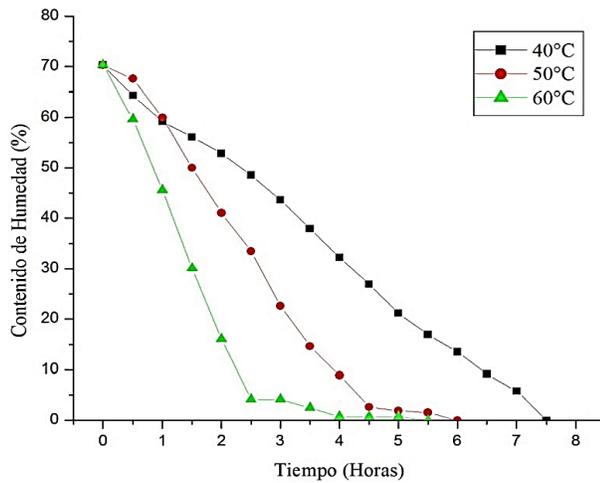


Figura 3. Variación del por ciento de humedad de la moringa para las tres temperaturas.

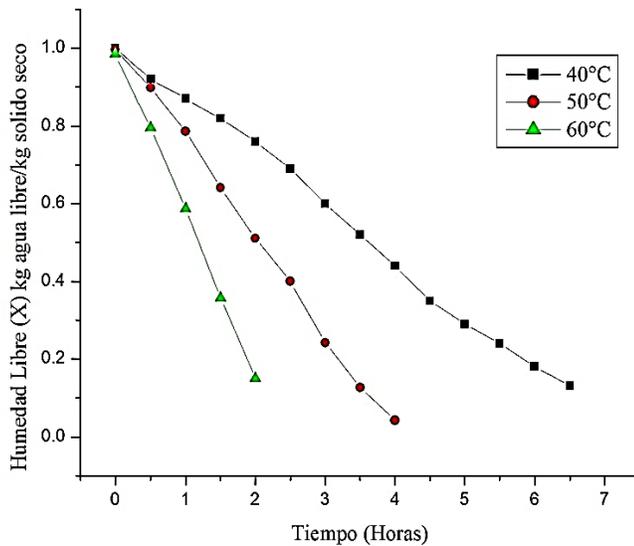


Figura 4. Curva de velocidad de secado de la moringa para las tres temperaturas.

Como resultado del modelado de los datos experimentales, en el Cuadro 3 se presentan los coeficientes obtenidos de cada uno de los modelos empleados, así como el coeficiente de correlación. Como se observa el modelo que más se ajustó a los datos experimentales fue el modelo Page con un coeficiente de correlación promedio para las tres temperaturas de $R^2 = 0.9957$, esto queda comprobado en las gráficas descritas en las Figuras 5, 6 y 7, seguido por el modelo de Verma, Henderson y Newton en ese orden. Por tanto, se usará el modelo Page para la determinación del coeficiente de difusión y la energía de activación.

Cuadro 3. Coeficientes por modelos matemáticos de acuerdo a los datos experimentales.

Modelo y ecuación	40 °C		50 °C		60 °C	
	Coeficientes	R ²	Coeficientes	R ²	Coeficientes	R ²
Newton	k= 0.0952	0.8704	k= 0.1561	0.8234	k= 0.2147	0.7798
Page	k= 0.01201 n= 1.94	0.9946	k= 0.01911 n= 0.03818	0.995	k= 0.03818 n= 2.399	0.9439
Henderson	k= 0.1235 a= 1.244	0.9385	k= 0.2227 a= 1.369	0.9337	k= 0.3445 a= 1.45	0.9439
Verma	k= 0.244 a= -36.47 g= 0.2362	0.9819	k= 0.4186 a= -49.15 g= 0.4075	0.9779	k= 0.6805 a= -14.28 g= 0.6174	0.7798

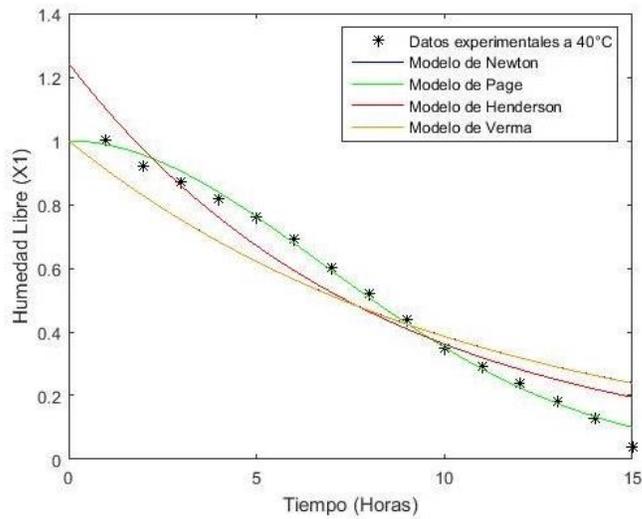


Figura 5. Ajuste de los modelos matemáticos a los datos experimentales para 40 °C.

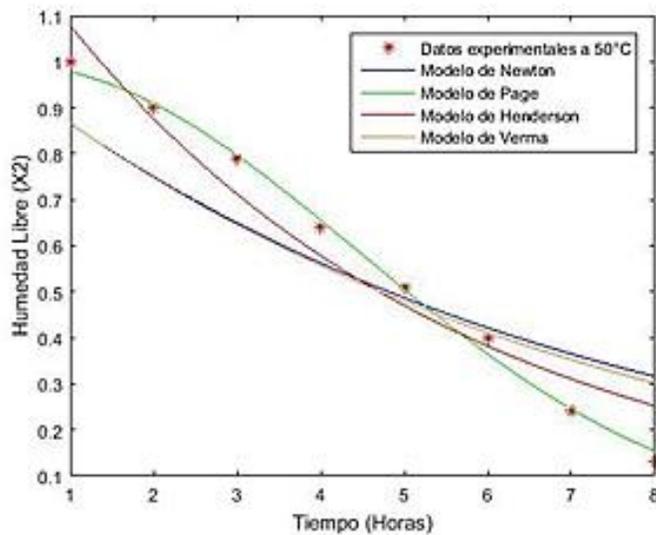


Figura 6. Ajuste de los modelos matemáticos a los datos experimentales para 50 °C.

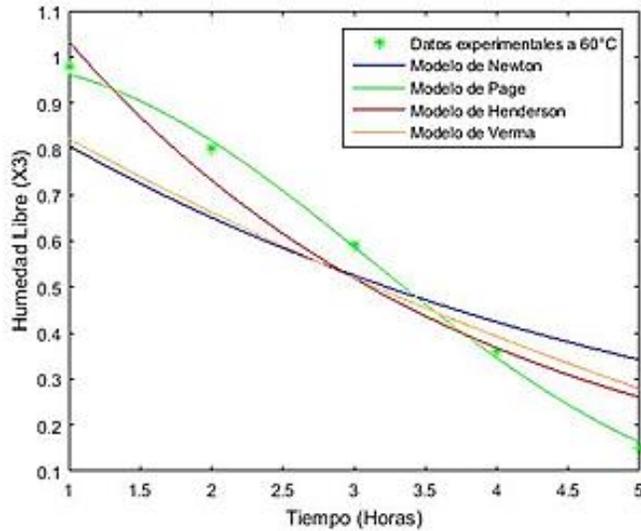


Figura 7. Ajuste de los cuatro matemáticos a los datos experimentales para 60 °C.

Como se puede observar en el Cuadro 4, existe una similitud entre los valores del coeficiente de difusión calculados a partir del modelo de Page y los obtenidos del mediante la correlación logarítmica de las temperaturas de 40, 50 y 60 °C. Se puede notar que para mayores temperaturas del secado mayor son las velocidades; de esta manera, el aumento de la temperatura favoreció la transferencia de masa y como consecuencia el aumento del coeficiente de difusión.

Cuadro 4. Coeficientes de difusión (D_{ef}), obtenidos para el Ln(X) y por el modelo de Page.

Temperatura (°C)	D_{ef}	
	Ln (X)	Page
40	9.68678E-08	9.8894E-08
50	1.5008E-07	1.6966E-07
60	2.69933E-07	2.7581E-07

Para la energía de activación para el modelo Page es muy similar a los datos experimentales por lo que se afirma que éste es el modelo de mejor ajuste (Cuadro 5).

Cuadro 5. Energía de Activación para el modelo de Page y la correlación logarítmica.

Modelo	Pendiente (B)	Intercepto(A)	$D_o = \exp (A)$	$E_a = -B * R$ (kJ mol ⁻¹)
Correlación o Ln(X)	-5.33607	0.86084	2.365146583	44.36408598
Page	-5.35133	0.96307	2.619726702	44.49095762

La energía necesaria para iniciar el proceso de secado de moringa se encuentra en el rango desde 44.36 a 44.49 kJ mol⁻¹. Una energía de activación alta corresponde a una velocidad de reacción muy sensible a la temperatura (la representación de Arrhenius tiene una pendiente grande) y al revés, una energía de activación pequeña corresponde a una velocidad de reacción relativamente insensible a cambios de temperatura (Figura 8).

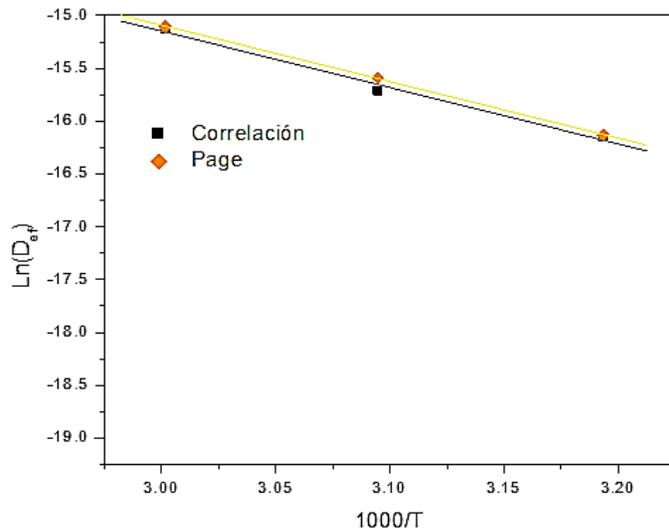


Figura 8. Correlación logarítmica de D_{ef} para los datos experimentales.

En el Cuadro 6 se muestra una comparación del coeficiente de difusión obtenidos en este experimento con moringa con los reportados en estudios de plantas similares.

Cuadro 6. Comparación del coeficiente de difusión y energía de activación para varios productos.

Menta (<i>Mentha crisper</i> L.) Park <i>et al.</i> (2002)		Epazote (<i>Dysphania ambrosioides</i>) Kane <i>et al.</i> (2008)		Tomillo (<i>Thymus</i>) Da Rocha <i>et al.</i> (2012)		Moringa	
Temp	D_{ef} ($m^2 s^{-1}$)	Temp	D_{ef} ($m^2 s^{-1}$)	Temp	D_{ef} ($m^2 s^{-1}$)	Temp	D_{ef} ($m^2 s^{-1}$)
40 °C	9.281E-13 – 1.125E-12	-	-	40°C	7.760E-12	40 °C	4.8677E-08
50 °C	2.261E-12 – 2.295E-12	50 °C	3.7116E-09 – 4.598E-09	50°C	2.089E-11	50 °C	7.7453E-07
-	-	60 °C	5.4772E-09 – 1.044E-0	60°C	5.626E-11	60 °C	1.5474E-07

Evaluación sensitiva

Para la evaluación organoléptica se numeraron las muestras como sigue: 1, secada a 40 °C; 2, secada a 50 °C; 3, secada a 60 °C y 4, producto comercial del Rancho de Chiapas de Corzo que se seca tradicionalmente; los resultados de dicha evaluación se muestran en el Cuadro 7. El nivel de agrado se evaluó integralmente, ósea los sentidos evaluados se resumen en agrado o desagrado con dos términos intermedios como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 2. Evaluación del agrado organoléptico de las muestras de *Moringa oleifera*.

Muestras	Evaluación de agrado			
	Mayor agrado	Agrado moderado	Desagrado moderado	Mayor desagrado
Muestra 1	8	6	27	8
Muestra 2	6	26	8	4
Muestra 3	30	11	2	3
Muestra 4	6	7	13	35

La muestra secada a 60 °C obtuvo las mayores cifras de agrado pues presentó la mayor cantidad de encuestados que la calificaron con un alto nivel de agrado integral en cada rubro evaluado (18% para el olor, 74% para el color, 56% para textura y 52 % para sabor) y además dicha muestra fue preferida sobre todas las demás por 60% de los encuestados. Finalmente, la muestra número 3 (secada a 60 °C) es la mejor en términos de velocidad de secado pues fue la que presentó menos tiempo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. En términos organolépticos, presentó las mejores evaluaciones en cada uno de los rubros evaluados por parte de los encuestados.

Conclusiones

Se puede concluir que tanto en la cinética de secado como en la evaluación organoléptica, la temperatura óptima de secado para la *Moringa oleifera* es a 60 °C, presentando un tiempo de secado de dos horas, siendo el modelo de Page el que mejor describe el proceso; con un coeficiente de difusión de $1.54745E^{-08}$ y una energía de activación (E_a) cuyo valor se encuentra en un rango de 44.36 - 44.49 kJ mol⁻¹. En cuanto a la evaluación organoléptica, la muestra secada a 60 °C obtuvo las mayores cifras de agrado tanto en olor, color, textura y sabor, y además fue preferida sobre todas las demás muestras por más de 60% de los encuestados.

Literatura citada

- Andrade, E. T.; Borém, F. M. e Haridoim, P. R. 2003. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. Rev. Bras. Armazenamento. 1(7):37-43.
- Corrêa, P. C.; Resende, O.; Martinazzo, A. P.; Goneli, A. L. D. e Botelho, F. M. 2007. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. Eng. Agr. 27(1):501-507.
- Da Rocha, R. P.; Melo, D. C. E.; Corbín, B. J.; Berbert, A. P.; Donzeles, L. M. S. e Tabar, A. J. 2012. Drying kinetics of thyme. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb. 16(6):675-683.
- Diamante, L. M. and Munro, P. A. 1993. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. Solar Energy. 51(4):271-276.
- Fito, P.; Chiralt, A.; Barat, J. M.; Andrés, A.; Martínez-Monzó, J. and Martínez-Navarrete, N. 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. J. Food Eng. 49(4):297-302.
- Geankoplis, C. J. 1983. Drying of process materials; transport processes and unit operations. Allyn and Bacon Inc. 2th. Boston, Massachusetts. 855 p.
- Giraldo, A. y Arévalo, A. 2010. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para la pulpa de cupuaçu. Rev. Bras. Ciênc. Tecnol. Alim. 30(1):179-182.

- Heldman, Daryl B. Dennis R. Lund, Christina Sabliov. 2006. Handbook of Food Engineering. Second Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida: 756 -810 pp.
- Kane, C. S. E.; Jamali, A.; Kouhila, M.; Mimet, A. and Ahachad, M. 2008. Single-layer drying behavior of mexican tea leaves (*Chenopodium ambrosioides*) in a convective solar dryer and mathematical modeling. Chem. Eng. Comm. 195(7):787-802.
- Liria M. R. 2007. Guía para la evaluación sensorial de alimentos. Instituto de Investigación Nutricional. Lima, Perú. 18-30 pp.
- Mathur, S. B. 2005. Moringa book. Treesforlife. St. Louis, United States. 36 p.
- Midilli, A.; Kucuk, H. and Vapar, Z. 2002. A new model for single-layer drying. Drying Technol. 20(7):1503-1513.
- Mujumdar, A. S. 1987. Handbook of industrial drying. New York, United States. 437-562 pp.
- Olson, M. E. y Fahey, J. W. 2011. Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. Revista mexicana de biodiversidad. 82(4):1071-1082.
- Park, K. J.; Vohnikova, Z. and Brod, F. P. R. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). J. Food Eng. 51(3):193-199.
- Quattrocchi, U. 2006. CRC world dictionary of plant names: common names, scientific names, eponyms, synonyms, and etymology. CRC Press. Boca Raton, Florida. 2408 p.
- Sharma, G. P.; Prasad, S. and Datta, A. K. 2003. Drying kinetics of garlic cloves under convective drying conditions. J. Food Sci. Technol. 40(1):45-51.
- Verma L. R.; Bucklin, R. A.; Endan, J. B. and Wratten, F. T. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. Transaction of the ASAE. 28(1):296-301.