

# Secado solar de chicozapote (*Manilkara zapota*)

José Hernández-Rodríguez<sup>1</sup>

Pedro Quinto-Diez<sup>2</sup>

Jorge Ovidio Aguilar-Aguilar<sup>1</sup>

Gliserio Romeli Barbosa-Pool<sup>1</sup>

Wilberth Ramón Razo-Pérez<sup>1</sup>

Miguel Toledo-Velazquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Quintana Roo  
Departamento de Ingeniería  
Blvd Bahía s/n esq. I Comonfort, Col. del Bosque.  
CP 77019, Chetumal, Quintana Roo.  
MÉXICO

<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos "Zacatenco",  
Edificio 5 2º Piso, Col. Lindavista, Alcaldía Gustavo A.  
Madero, Ciudad de México, CP 07300.  
MÉXICO

correo electrónico (email):  
josherna@uqroo.edu.mx  
pqd510@hotmail.com  
ovidio@uqroo.edu.mx  
romelix1@gmail.com  
razo.92.wr@gmail.com  
mtv49@yahoo.com

Recibido 28-02-2019, aceptado 30-04-2019.

## Resumen

En este trabajo, se presentan algunos avances de las actividades que en la Universidad de Quintana Roo se están realizando sobre el estudio del secado solar de productos agrícolas. En este caso en particular se presenta el secado de chicozapote (*Manilkara zapota*), para lo cual se ha empleado un secador solar de tipo indirecto instalado en el campus Chetumal. Se ha encontrado que, con el secado solar en dos días despejados durante el mes de marzo de 2018, se alcanzó en promedio un 12% de contenido de humedad final en las muestras estudiadas, en tanto que en muestras que se han secado en laboratorio a temperatura constante de 55°C, se logró alcanzar un 8% de contenido de humedad final. Uno de los principales proble-

mas que todavía quedan por resolver es el referente a la calidad del producto la cual no ha sido la óptima debido al oscurecimiento del producto durante el proceso de secado.

**Palabras clave:** secado, energía solar, productos agrícolas.

## Abstract (Solar Drying of chicozapote (*Manilkara zapota*))

This paper presents some advances about agricultural solar drying research in the University of Quintana Roo. In this case we present results of chicozapote drying (*Manilkara zapota*), using an indirect solar dryer installed in Chetumal. We found that with two days in March 2018, we reach a 12% of final moisture content in our samples, and in conventional laboratory drying test at 55°C, samples reach an 8% of moisture content. The main problem to solve is final quality of product, because drying provoke browning of product.

**Index terms:** drying, solar energy, agricultural products.

## 1. Introduction

Los alimentos se pierden o desperdician a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción agrícola inicial hasta el consumo final en los hogares. Según estudios del Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), en los países con altos y medianos ingresos, los alimentos se desperdician principalmente en la etapa del consumo, lo que significa que se desechan incluso si todavía son adecuados para el consumo humano [1].

Por otra parte, en los países de bajos ingresos, los alimentos se pierden principalmente durante las primeras etapas de la cadena de suministro de alimentos y en contraparte se desperdician muchos menos alimentos en el consumo. Esto implica que en dichos países las principales pérdidas se producen en el cultivo y manejo postcosecha (almacenamiento).

En general, en el mundo industrializado se desperdician muchos más alimentos per cápita que en los países en desarrollo. Se calcula que el desperdicio per cápita de alimentos por consumidor en Europa y América del Norte es de 95 a 115 kg/año, mientras que en el África subsahariana y en Asia meridional y sudoriental esta cifra representa solo de 6 a 11 kg/año [2].

En términos generales, la FAO estima que alrededor de un tercio de la producción de los alimentos destinados al consumo humano se pierde o desperdicia en todo el mundo, esto sería el equivalente a 1 300 millones de toneladas al año.

Una buena parte de los alimentos que se pierden es por la falta de medios adecuados de almacenamiento [3]. Siendo esta la razón por la cual se vuelve importante el desarrollo de procesos adecuados de conservación. Dentro de las diferentes opciones para almacenar y conservar a los productos agrícolas, se tiene que el secado además de constituir una alternativa viable permite darles un valor agregado a dichos productos.

Entre las diversas opciones o métodos de secado, conviene destacar el secado solar, ya que es posible aplicarlo casi en cualquier región con bajo costo, esto lo coloca como una opción viable para ayudar a disminuir las pérdidas de alimentos.

Las tecnologías de secado solar ofrecen una alternativa viable para procesar los productos agrícolas en forma sencilla, limpia e higiénica, cumpliendo con la normatividad existente para el manejo de los alimentos, y así contribuir a reducir el consumo de combustibles tradicionales, mejorar la calidad de los productos, disminuir las pérdidas postcosecha y cuidar el medioambiente.

En este trabajo, se estudia el proceso de secado de chicozapote, que es un fruto muy preciado en la región sureste de México por su sabor, para lo cual se ha empleado un secador solar de bajo costo.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Chicozapote (*Manilkara zapota*)

El chicozapote (*Manilkara zapota*) es una planta de la familia de las sapotáceas (antes llamado *Sapota zapotilla* o *Achras zapota*) originario de México, Tamaulipas, Nayarit, Colima y Michoacán, así como de Campeche, Chiapas, Tabasco, Quintana Roo y Yucatán [4]. Su nombre común proviene del náhuatl "chictli", ya que de su árbol se obtiene una goma que se ha usado para mascar desde hace siglos por los pueblos americanos, debido a que posee un aroma y un sabor dulce por naturaleza [5].

El fruto proviene de un árbol siempre verde normalmente de 8 a 15 m de altura, aunque puede alcanzar en los bosques tropicales hasta 30 m de altura. Su tronco presenta una corteza de color pardo, agrietada, que al cortarla exuda el látex blanco utilizado en la fabricación de goma de mascar [6].

Sus frutos son de forma ovalada a redonda, dependiendo de la variedad. De tamaño mediano que van de los 70 a los 250 g.



Fig. 1. Fruta chicozapote.

de peso. Con pulpa de color blanco amarillento en unas variedades y blanco rosáceo en otras. Es de sabor dulce y agradable y recubre un número de semillas que puede ir de 1 a 5. La piel de color pardo, es un tanto áspera para algunas variedades y fina en otras [7].

### 2.2. Secado

El secado se puede definir como un proceso de transferencia simultánea de calor y masa, mediante el cual un cuerpo pierde parte de su contenido de humedad.

Para estudiar el secado de un producto, se debe analizar su cinética de secado, lo cual se puede realizar a través de utilizar el modelo de Lewis, quien, basándose en la ley de enfriamiento de Newton y para materiales de espesor delgado, propuso que [8]:

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (1)$$

donde:

$M$ , contenido de humedad (%)

$t$ , tiempo (s)

$M_e$ , contenido de humedad en equilibrio (%)

$k$ , constante de secado

La integración de la ecuación 1, permite obtener lo que se denomina como la relación de humedad, quedando de la forma:

$$MR = \ln \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = e^{-kt} \quad (2)$$

El cálculo de  $k$  se puede obtener a partir de linealizar la ecuación 3, de la forma:

$$\ln MR = \ln \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = -kt \quad (3)$$

En la ecuación 3,  $M_e$  es el valor del contenido de humedad en equilibrio, la cual se considera es el contenido de humedad al finalizar el periodo de secado a velocidad constante. Para obtener el valor de la constante de secado, se pueden trazar los datos del logaritmo natural de la relación de humedad con respecto al tiempo, obteniéndose una línea recta cuya pendiente hay que calcular.

Por otra parte, si se considera que la difusión de humedad es el mecanismo responsable de la pérdida de humedad de un producto durante el secado, entonces se puede aplicar la segunda ley de Fick para explicar este fenómeno.

Otro aspecto, consiste en determinar la difusividad específica del producto, lo cual se puede realizar usando la ecuación de Crank [9], suponiendo que el material se comporta como una placa delgada:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 D_{ef} \pi^2}{L^2} t\right) \quad (4)$$

donde para la ecuación 4:

$L$ , dimensión de la muestra (m)

$D_{ef}$ , difusividad efectiva ( $m^2/s$ )

$t$ , tiempo (s)

### 2.3. Desarrollo experimental

Para el desarrollo experimental, en primer término, se adquirió el producto a emplear durante las pruebas, buscando que tuviese el mismo grado de maduración; posteriormente se lavó y almacenó a una temperatura de 4°C hasta el momento de su uso.

Una hora antes de los experimentos de secado se permitió que el producto se estabilizara a la temperatura ambiente, posteriormente se cortó en rebanadas de  $5 \pm 1$  mm de espesor y se seleccionaron las muestras que se someterían al proceso de secado. Para la selección del espesor de las muestras, se consideró lo señalado por diversos autores [10], [11], [12] quienes han determinado que a menor espesor menor es el tiempo de secado, pero con espesores del rango de 3 a 5 mm existen diferencias poco significativas.

Otras muestras se separaron para la determinación del peso seco en un horno de laboratorio, en donde el producto se deshidrata a una temperatura de 90°C, verificando las variaciones de peso cada 20 minutos, hasta que pasadas 2 horas no se detectó variación alguna del mismo. Para la medición del peso de las muestras se utilizó una balanza con un margen de error de  $\pm 0.001$  g.



Fig. 2. Secado solar.

Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó un secador solar tipo indirecto (véase Fig. 2), el cual fue construido en la Universidad de Quintana Roo. La cámara de secado consta de tres charolas para la colocación del producto, además de dos ventiladores, uno de los ventiladores se emplea para extraer el aire saturado de humedad y el otro para recircular una porción del aire caliente de la cámara.

En el secador solar se instalaron 8 termopares tipo K para medir las temperaturas tanto en diversos puntos del secador, así como la del ambiente. De la misma forma se mantuvo un registro de la irradiación solar, humedad ambiente, y peso de las muestras. En el diagrama de la Fig. 3, se muestran los puntos en donde se instalaron los termopares para analizar el comportamiento del proceso.

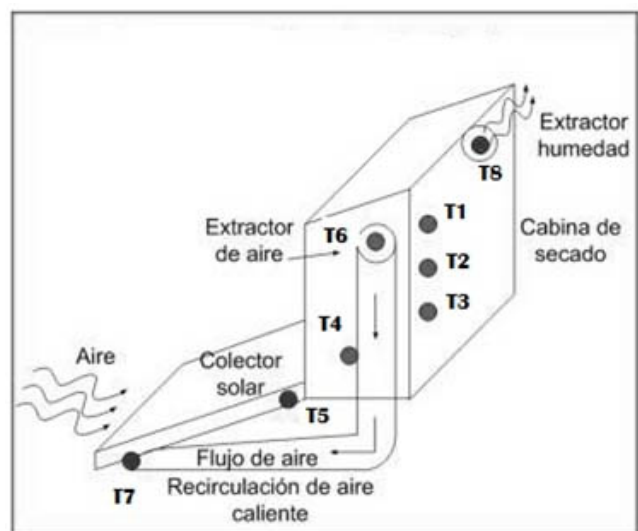


Fig. 3. Esquema del secador solar y puntos de medición de temperaturas.

El secador solar cuenta con un área de captación de 1.4 m<sup>2</sup>, y un volumen de la cámara de secado de 0.38 m<sup>3</sup>, lo cual permite colocar 3 charolas de 0.5m x 0.7m cada una para el deshidratado del producto. La capacidad de secado es de aproximadamente 2 kg de producto en rebanadas. La potencia de los dos ventiladores es de 11W cada uno.

Las muestras se colocaron en las diferentes charolas del secador, y el contenido de humedad, se determinó usando la ecuación (5), la cual proporciona el contenido de humedad en base húmeda.

$$M = \frac{W - W_s}{W_i} \quad (5)$$

donde:

$M$ , contenido de humedad (%)

$W$ , peso de la muestra en un instante dado (kg)

$W_s$ , peso seco de la muestra (kg)

$W_p$ , peso de inicial de la muestra (kg)

La incertidumbre de las mediciones se ha estimado con base en la *Guía para la expresión de la incertidumbre* [13]. La cual está definida por la ecuación (6):

%H =

$$\sqrt{\left[\frac{\partial H}{\partial m_h}\right]^2 u^2 m_h + \left[\frac{\partial H}{\partial m_s}\right]^2 u^2 m_s + 2 \left[\frac{\partial H}{\partial m_s}\right] \left[\frac{\partial H}{\partial m_h}\right] u(m_h) u(m_s) \cdot r(m_h, m_s)} \quad (6)$$

donde:

$\partial H / \partial m_h$  es el coeficiente de sensibilidad de  $H$  respecto a  $m_h$

$\partial H / \partial m_s$  es el coeficiente de sensibilidad de  $H$  respecto a  $m_s$

$u(m_h)$  es la incertidumbre de la masa húmeda

$u(m_s)$  es la incertidumbre de la masa seca de la muestra

$r(m_h, m_s)$  es el coeficiente de correlación entre  $m_h$  y  $m_s$

Se consideran que las principales fuentes de incertidumbre durante el experimento son: temperatura de secado, tiempo de secado, y masas de las muestras. Así la incertidumbre combinada para conocer el contenido de humedad del producto, se establece como:

$$\%H = \sqrt{u_{\text{modelo}}^2 + u_{\text{temp-sec}}^2 + u_{\text{tiempo}}^2 + u_{\text{masa}}^2}$$

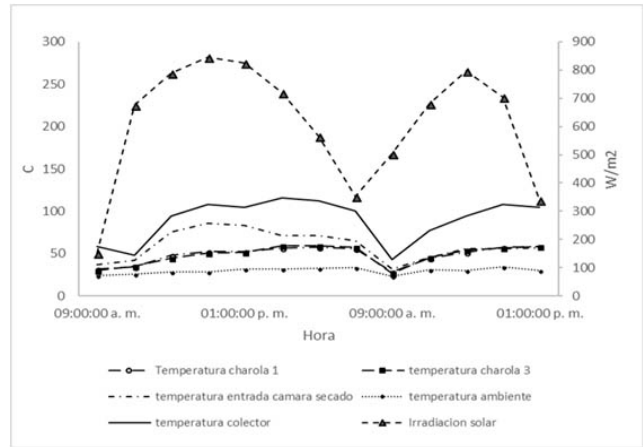


Fig. 4. Comportamiento de la irradiación solar y temperaturas en los días de las pruebas.

## 2.4. Resultados

En la Fig. 4, se observa el comportamiento de las temperaturas en los diferentes puntos del secador, comparado con la variación de la irradiación solar registrada en los días de prueba. En este caso se reportan las pruebas realizadas durante el mes de marzo de 2018.

Se puede observar que la temperatura en las charolas fue prácticamente la misma (con una diferencia de 2°C), alcanzándose la máxima temperatura hacia las 3 pm (hora local), la cual fue de 57.1 y 59.3°C. Siendo la más alta la que corresponde a la charola inferior (más cercana a la salida del colector solar)

En la Fig. 5, se muestra el comportamiento del contenido de humedad en las muestras. Con el uso del secador solar, se

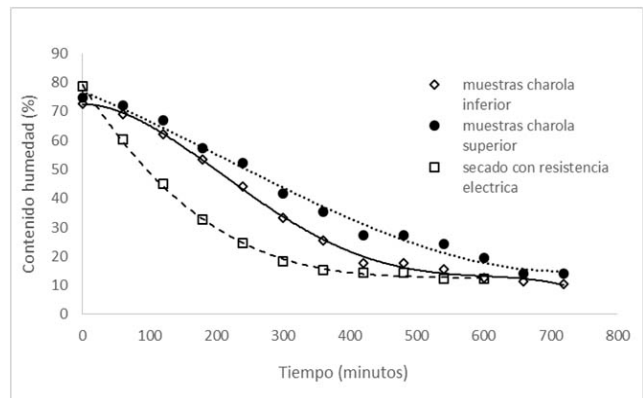
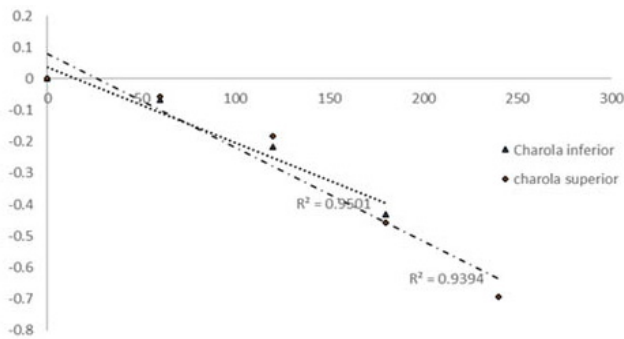


Fig. 4. Variación del contenido de humedad de las muestras.





**Fig. 6.** Variación del logaritmo natural de la Relación de humedad.

alcanzaron contenidos de humedad final tanto en la charola superior como en la inferior de 12%, mientras que, en una prueba realizada en laboratorio con un horno de secado, en donde se sometieron algunas muestras a un proceso de secado a una temperatura constante de 55°C, se pudo lograr un contenido de humedad final de 8%.

En la Fig. 6, se muestran los resultados obtenidos de la obtención del logaritmo natural de la relación de humedad, y su aproximación a una línea recta, cuya pendiente puede ser calculada, para que, a partir de dicho dato, obtener los valores de la difusividad específica.

En este caso de estudio del secado solar de chicozapote, el valor obtenido de la difusividad específica es de  $1.112 \text{ e-}12 \text{ m}^2/\text{s}$ , en tanto que para el secado en laboratorio se obtuvo un valor de  $1.26 \text{ e-}11 \text{ m}^2/\text{s}$ . Finalmente cabe señalar que del análisis de incertidumbre combinada se obtuvo un valor de 0.25%.

### 3. Conclusiones

En este trabajo, se han presentado algunos avances realizados en el estudio de secado de productos agrícolas en la Universidad de Quintana Roo. Específicamente, se ha analizado el proceso de secado de chicozapote, el cual se ha logrado realizar en un secador solar tipo indirecto.

Los contenidos finales de humedad del producto, han sido adecuados ya que la literatura especializada señala que para lograr la conservación de una fruta o verdura se debe alcanzar un contenido de humedad final máximo del 12 %, y que es el valor que se logró obtener.

Sin embargo, falta realizar mayores pruebas, ya que por los procesos físico-químicos que se presentan durante el secado, el producto se oscurece demeritando su calidad. Por lo

cual, el siguiente paso sería analizar el secado, pero, empleando alguna técnica de pretratamiento del producto.

### Agradecimiento

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería de la Universidad de Quintana Roo, por el apoyo brindado.

### Referencia

- [1] A. Blanco-Prieto, "Reducción de pérdidas y desperdicios alimentarios y bienestar social: una relación posible," *Distribución y consumo*, vol. 26, núm. 142, 2016, pp. 5-11.
- [2] J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, R. Otterdijk, A. Meybeck, *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo*, Roma: FAO, 2012.
- [3] A. S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying*, UK: Taylor&Francis, 2007.
- [4] X. García, B. Rodríguez, C. Parraguirre, "Notas importantes sobre el chicozapote (anilkarazapota). L. Van Royen," *Ciencia forestal*, vol. 18, núm. 74, 1993.
- [5] D.A. Villegas Gómez, *Usos de chicozapote (manilkarazapota) en México*. Tesis licenciatura, IPN, México, 2016
- [6] M. L. Vargas y Vargas, E. Sauri Duch, E. Tamayo Canul, S. A. González Novelo, J. Tamayo Cortez, "Chicozapote fresco y cortado con actividad antioxidante; una demanda actual del consumo de frutas," *Revista Mexicana de Agro negocios*, vol. 36, enero-junio, 2015, pp. 1315-1324.
- [7] M.A. García Pérez, C. Orantes García, C. L. Miceli Méndez, E. R. Garrido Ramírez, R. Pérez López, "Germinación de semillas de chicozapote (Manilkarazapota (L.) P. Royen (sapotáceas)," *Lavandonia*, vol. 4, núm. 1, pp. 17-22, junio 2010.
- [8] K. J. Park, Z. Vonikova, F. P. Reis Brod, "Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentacrispa L.)," *Journal of Food Engineering*, núm. 51, 2002, pp. 193-199.
- [9] J. Crank, *The mathematics of diffusion*. London: Oxford University Press, 1975.
- [10] K. Limpiboon, "Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Walailak," *Journal of SCI and Tech*, vol. 8, núm. 2, pp. 59-166, 2011.
- [11] R. Sadin, G. R. Chegini, H. Sadin, "The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer," *Heat and Mass transfer*, vol. 50, núm. 4, pp. 501-507, 2014.
- [12] Y. O. Ertekin, "Thin layer solar drying of some vegetables," *Drying Technology*, vol. 19, núm. 2, pp. 583-596, 2001.
- [13] ISO GUM, *Guide to expression of the uncertainty in measurements*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML, 1996.