



**Secado de nuez de la india cultivada en Campeche, México mediante tecnologías solares directas y bajo condiciones controladas**

***Nut drying of India cultivated in Campeche, México through direct solar technologies and under controlled conditions***

**Castillo Téllez Margarita <sup>1\*</sup>; Ovando Sierra Juan Carlos <sup>2</sup>; Lezama Zárraga Francisco <sup>3</sup>; Mex Álvarez Diana C <sup>4</sup>**

1 PhD Energía solar térmica, Universidad Autónoma de Campeche. mcastill@uacam.mx

2 M. en I. Mecánica. jcovando@uacam.mx

3 Dr. En Electricidad de Potencia. Universidad Autónoma de Campeche. frlezama@uacam.mx

4 M. en C. Sistemas. Universidad Autónoma de Campeche. diancmex@uacam.mx

**Resumen**

Las semillas de nuez de la India han sido usadas durante cientos de años en América del Sur gracias a sus múltiples propiedades beneficiosas y medicinales que posee. En este trabajo se presentan las características de la deshidratación de las semillas de nuez de la India utilizando un horno no convectivo a condiciones controladas de temperatura: 55°C y 65°C, con tiempos de secado de 1280 y 1080 minutos, respectivamente. Se utilizó además un secador solar directo tipo gabinete sin ventilación y secado a cielo abierto, obteniendo tiempos de secado promedios de 1020 y 1400 minutos, respectivamente. La temperatura en la cámara de secado más alta medida fue de 58.8°C. Las pruebas se realizaron en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Campeche, en Campeche, México, ubicada a 19°51'00" de latitud norte, y 90°31'59" de longitud oeste, con un clima cálido-húmedo y valores promedio máximos de irradiancia solar de 970 W/m<sup>2</sup>. La humedad final de la nuez seca se osciló entre 6% y 4%. El tiempo de secado en gabinete fue más corto debido a que en convección natural se pueden alcanzar temperaturas más altas o muy cercanas a los 55 °C. Los resultados obtenidos muestran que el secado solar en gabinete es una tecnología simple y económica; se comprobó también la factibilidad técnica del secado solar de la semilla de marañón, obteniendo un valor agregado y alentando su producción en México.

**Palabras clave:** Secador solar directo, Secado con temperaturas controladas, Convección natural, Cinética de secado.

**Abstract**

The nuts of India have been used for hundreds of years in South America thanks to its many beneficial and medicinal properties. This paper presents the characteristics of the dehydration of walnut seeds from India using a non-convective oven at controlled temperature conditions: 55 °C and 65 °C, with drying times of 1280 and 1080 minutes, respectively. A direct solar dryer type cabinet without ventilation and open-air drying was also used, obtaining average drying times of 1020 and 1400 minutes, respectively. The temperature in the highest measured drying chamber was 58.8 °C. The tests were carried out in the Faculty of Engineering of the National Autonomous University of Campeche, in Campeche, Mexico, located at 19°51'00 "north latitude, and 90°31'59" west longitude, with a warm-humid climate and average values maximum solar irradiance of 970 W/m<sup>2</sup>. The final humidity of the dried walnut ranged between 6% and 4%. The drying time in the cabinet was shorter due to the fact that natural convection can reach higher temperatures or very close to 55°C. The results obtained show that solar drying in the cabinet is a simple and economical technology; the technical feasibility of the solar drying nut of Indian was also verified, obtaining an added value and encouraging its production in Mexico.

**Key words:** Direct solar dryer, drying with controlled temperatures, natural convection, drying kinetics.

61

### 1.-Introducción

El ahorro de energía y el impacto ambiental, son dos elementos sustantivos en cualquier proceso de sustentabilidad y deben de estar considerados en cualquier propuesta de desarrollo económico, social y cultural. El agotamiento de los recursos petrolíferos, así como su impacto ambiental, han tenido como consecuencia una creciente preocupación y toma de conciencia buscando minimizar los efectos nocivos sobre el medio ambiente (Pabón Rojas et. Al, 2019), direccionado el interés hacia nuevas alternativas energéticas basadas en las energías renovables. México cuenta con una amplia gama de ofertas de energías renovables, principalmente de origen solar, geotérmico, biológico, eólico e hidráulico, distribuidas en diferentes regiones del país, siendo la solar, la de mayor distribución, lo que permite una mayor utilización, tanto en su conversión térmica como eléctrica (SENER-Gobierno del Estado de Campeche).

El árbol de marañón produce un fruto del cual se extrae la semilla denominada nuez de la india. Este árbol prospera en Yucatán, Campeche, Chiapas, Oaxaca y Veracruz, estos Estados son grandes importadores de esta nuez, la cual podría representar una importante contribución a la economía estatal con su adecuada deshidratación, debido a las múltiples propiedades beneficiosas y medicinales que posee (Conacyt-Gobierno del Estado de Campeche).

El pseudo fruto conocido como fruto del marañón se forma del pedúnculo o receptáculo, éste es engrosado y jugoso, de color amarillo o rojo, en el extremo se ubica el fruto verdadero, una nuez en forma de riñón, gris y dura, conocida como nuez de marañón. El pedúnculo, que es la parte utilizable como fruta fresca, es un cuerpo en

forma de pera o esférico, de 4 a 8 cm de largo, amarillo o rojo. El parénquima de color amarillo, contiene un líquido azucarado y astringente además de que es rico en vitamina C. La nuez, de 2 a 3 cm de largo, tiene un pericarpio liso y brillante y el mesocarpio tiene espacios que contienen masas de aceites o gomas, esta semilla o nuez se encuentra en un receptáculo bajo la parte carnosa. De la semilla se obtiene un aceite que se llama cardol; también lo importamos. El componente principal de éstos es cardol, sustancia cáustica y venenosa que se evapora calentando las nueces. La planta crece en suelos pobres y rinde frutos al tercer año de vida (Cáceres, 2004).

Entre sus propiedades se le adjudican algunas como la de eliminar la celulitis y grasas localizadas, disminuir los niveles de colesterol malo y triglicéridos, eliminar exceso de ácido úrico y depurar el organismo por su alto contenido de fibras, tonifica la piel y los músculos, ayuda a mejorar la tensión arterial, ayuda a tratar la artritis. Además, las semillas de nuez de la India dan sensación de saciedad y ayudan a controlar la ansiedad, permitiendo además ser un suave laxante y diurético natural. También se le adjudican propiedades como el apoyo en la pérdida de peso, tratar la hemorroides, mejorar el estado de la piel, reduce el acné y estimula el crecimiento del cabello (Moro y Basile, 2000).

**Secado solar de la semilla del marañón (nuez de la india).** El secado solar es una mejor alternativa que permite sustituir al secado natural y al mecánico artificial. Además de las ventajas de conservación a largo plazo, reducción del volumen, relativa facilidad para su rehidratación, así como la conservación de una buena parte de los elementos nutrimentales y organolépticos y asegurar su disponibilidad (Romero, et. al.,

62

2016). El uso de la energía solar a través de la tecnología de secado solar directo contribuye al ahorro de energía además de lograr un secado favorable en las condiciones requeridas (Recio, et. Al, 2019). El secado más común de la nuez de la India es mediante secadores de gas y eléctricos, algunos hornos eléctricos trabajan con paneles fotovoltaicos; se han caracterizado empresas de tres niveles de acuerdo a su capacidad de producción: procesadores artesanales, semiindustriales e industriales. Los procesos de deshidratado en estos hornos son largos, por ejemplo, en el caso de la piña duran 12 horas y en el caso del guineo, 24 horas. El proceso de deshidratación del marañón se lleva a cabo a una temperatura de 45 °C, motivo por el cual es más prolongado (2-3 días) y arroja un rendimiento del 25% sin considerar exposición al sol. El tiempo de vida útil establecido para sus productos es de 4 meses. Se utilizan también secadores de aire forzado a 70 °C, los cuales tienen el inconveniente de utilizar además gas para proporcionar el calor del proceso, lo cual trae como consecuencia un consumo muy elevado de combustible y energía (Banchero, 2008).

Para la aplicación de las tecnologías de secado solar es fundamental el conocimiento de las propiedades de los alimentos deshidratados, con el objeto de optimizar este proceso desde el punto de vista energético y poder garantizar la conservación de sus cualidades organolépticas y nutritivas (M. de León, et. al., 2002). Para lo anterior se presenta un estudio experimental que permite analizar el comportamiento de las cinéticas de deshidratación, aplicando condiciones controladas y la energía solar, comparando

los resultados con el secado tradicional a cielo abierto.

En este artículo se detallan en el apartado del estudio experimental los materiales utilizados y el método de trabajo llevado a cabo para la deshidratación de la nuez de la India, se explica también la instrumentación de los secadores solares utilizados en la experimentación y aparatos de medición utilizados. Se presenta en el apartado de Resultados experimentales y discusión el comportamiento de los principales parámetros climatológicos que influyen en la deshidratación como son la temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar de un día soleado durante los días de prueba a manera de ejemplo; se muestra además, el estudio de las cinéticas de secado solar, contenido de humedad y velocidad de secado obtenidas en un secador directo tipo gabinete sin convección, comparado con el deshidratado en un secador convencional con calentamiento eléctrico no convectivo a temperatura controlada en un rango entre 55 °C y 65 °C. Finalmente, se concluye presentando los principales datos que experimentalmente nos llevan a determinar las condiciones y método de secado óptimo de la hoja de naranja amarga en función de las tecnologías evaluadas.

## **1. Metodología**

Se analiza experimentalmente el proceso de secado de la nuez de la india (*Anacardium occidentale*) en un secador solar tipo gabinete y en un secador convencional con calentamiento eléctrico no convectivo a temperatura controlada en un rango entre 55 °C y 65 °C y el secado tradicional a cielo abierto.

### **2.1 Materiales Y Métodos.**

63

**Materia prima.** Se abrieron las nueces cultivadas en Campeche, Campeche, retirando las semillas del marañón de la carcasa que las cubre y se seleccionaron de acuerdo a las que tenían mejor integridad en su estructura física, ya que algunas resultaron fraccionadas durante este proceso. Se lavaron y se seleccionaron para obtener un grupo homogéneo, basado en la madurez, tamaño y color. Se pesaron y se midió el ancho, largo y espesor de cada semilla.

**Métodos.** Como se mencionó anteriormente, en este trabajo, se analiza experimentalmente el proceso de deshidratación de la nuez de la india en un secador convencional no convectivo con calentamiento eléctrico, en un secador solar tipo gabinete y a cielo abierto. Se pesaron 12 g de nueces para cada prueba realizada.

**Secador eléctrico no convectivo.** Para la obtención de la cinética de secado, se utilizó un horno eléctrico marca Riossa sin convección de aire. Se registró la pérdida de peso mediante un software y se variaron las temperaturas de secado en cada prueba que se llevó a cabo.

**Secador solar directo tipo gabinete.** Se empleó un secador solar de tipo directo construido en material plástico transparente con una superficie de tratamiento de 0.5 m<sup>2</sup>. La cámara contiene una charola absorbadora de la radiación solar en donde se coloca el producto. Cuenta con perforaciones en las partes laterales, fondo y trasera, para permitir la circulación y extracción del aire húmedo caliente. La superficie frontal tiene una pendiente de 20° para aprovechar la radiación solar incidente y permitir en su caso la condensación y escurrimiento del agua. Puede operar en

convección natural o forzada, mediante un ventilador colocado en la parte trasera, de una potencia de 20 W, y permite una velocidad del aire máxima de 2 ms<sup>-1</sup>. En este trabajo se utilizaron un secador solar operando a convección natural.

La figura 1 muestra el secador solar directo tipo gabinete utilizado (SSD).



Fig. 1. Secador solar directo tipo gabinete en operación.

**Secado solar a cielo abierto.** Con la finalidad de comparar el proceso de secado en gabinete y en horno se trabajó el secado a cielo abierto colocando las nueces sobre una base rígida de plástico oscuro y se cubrió con una malla transparente muy ligera para evitar que las nueces fueran arrastradas en caso de vientos fuertes, se cuidó de no superponerlas y se dejaron hasta la puesta del sol.

En cada secador se registró la temperatura y la humedad relativa dentro de las cámaras de secado y la pérdida de peso de las muestras.





Fig. 2. Secado a cielo abierto.

### 2.2 2 Instrumentación

**Humedad.** Para la determinación de la humedad se utilizó un analizador de humedad, marca Boeco modelo BMA 150, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg. Se cortaron las semillas en porciones diminutas y se colocó una muestra de aproximadamente 1.0 g, procediéndose a su deshidratación. Este procedimiento se realizó antes y después de realizar las diferentes cinéticas de secado.

**Actividad de agua ( $a_w$ ).** La actividad de agua es un parámetro que determina la estabilidad de los alimentos con respecto a la humedad ambiental. Se determinó la actividad de agua para la semilla fresca y posteriormente para la seca. Se utilizó un equipo marca Rotronic Hygropalm de tipo portátil, con una precisión de  $\pm 0.01\%$  mg.

**Medición de pérdida de peso.** Se utilizó una balanza digital de alta precisión marca Boeco modelo BPS 40 plus. Se midió la pérdida de peso cada hora del día.

**Termómetros.** Se utilizaron termómetros de esfera, marca Mel (exactitud  $\pm 1.0$  °C) y digitales, marca OEM (exactitud 1.0 °C), con

los cuales se midió las temperaturas dentro de las cámaras de secado.

**Condiciones Climatológicas.** Durante el período de pruebas se registraron los parámetros climatológicos en la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería de la UAC. Las características (datos del fabricante) son los mostrados en la Tabla 1:

Tabla 1. Características y descripción de los instrumentos de medición de la estación meteorológica

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	MODELO	ERROR MÁXIMO
Radiación global	Piranómetro marca LI-COR	LI-200R	Azimut: $< \pm 1\%$ sobre 360° a 45° de elevación
Humedad relativa	NRG Systems	RH-5X	$\pm 3\%$
Temperatura ambiente	NRG Systems	110S	$\pm 1.1$ °C
Dirección del viento	NRG Systems	Series #200P	$\pm 3^\circ$
Anemómetro	Windsensor	P2546C-OPR	$\pm 0.3$ m/s

Fuente: Elaboración propia con datos de proveedor

## 2. Resultados experimentales y discusión.

El estudio experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Secado Solar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. El período de pruebas fue del 5 de abril al 4 de mayo del 2018. Para efecto de ejemplificar los resultados obtenidos se consideró un día de prueba soleado, en este caso, el día 26 de abril del 2018.

65

En la Tabla 2, se presentan las humedades iniciales y finales y actividad del agua de la semilla fresca y seca. Las humedades iniciales y finales obtenidas variaron muy poco, entre 50 % y 40 % y entre 6 % y 4 %, respectivamente. Los valores finales de la  $a_w$  indican que no hay posibilidad de crecimiento microbiano en el producto deshidratado obtenido.

Tabla 2. Humedades (%) y actividad del agua ( $a_w$ ) para las tres temperaturas seleccionadas.

TEMPERATURA	HUMEDAD (%)		$a_w$	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
55 °C	50.68	6.57	0.690	0.201
65 °C	42.74	5.70	0.662	0.289
Secado con convección natural	45.26	4.85	0.69	0.209
Cielo abierto	44.05	5.5	0.66	0.32

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1, se presentan las evoluciones de los parámetros climatológicos durante las pruebas del 26 de abril. Como puede observarse durante los días de prueba, la irradiancia global máxima alcanzada fue de 980 W/m<sup>2</sup>, siendo el intervalo de los valores máximos promedio entre 850 W/m<sup>2</sup> y 950 W/m<sup>2</sup>. Los valores de la temperatura ambiente oscilaron entre 30 °C y 36.3 °C, siendo la temperatura máxima lograda 38.2 °C. Por otro lado, el valor mínimo que alcanzó la humedad relativa en el día fue 43 %, el promedio mínimo en los días de prueba osciló entre 39 % y 45 %.

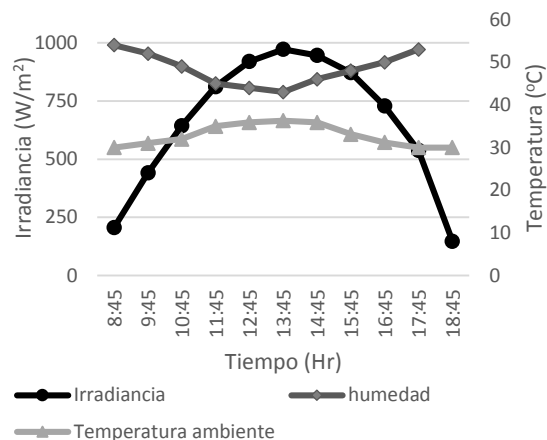


Fig. 1. Irradiancia solar global, temperatura ambiente y humedad relativa el día 26 de abril del 2018.

### 3.1 Secado no convectivo a temperatura controlada.

Se llevaron a cabo las pruebas de deshidratación de las semillas de marañón (nuez de la india) obteniéndose las cinéticas de secado a temperaturas controladas de 55 °C y 65 °C, realizándose tres experimentos por cada una de ellas. Las semillas deshidratadas tuvieron un peso final promedio de 9.3 g en promedio. En el horno no convectivo se introdujeron 12 g de semillas.

La Figura 2 muestra el comportamiento del contenido de humedad en base seca para las dos temperaturas establecidas, con tiempos de secado de 1080 minutos para la temperatura de 65 °C y 1280 minutos para 55 °C.

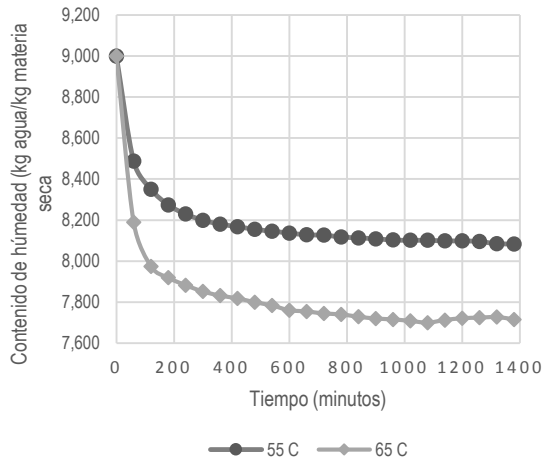


Fig. 2. Variación del contenido de humedad respecto al tiempo de secado en condiciones controladas a 55 °C y 65 °C en el secador eléctrico.

La Figura 3, representa las evoluciones de la velocidad de secado en función del contenido de humedad para cada una de las temperaturas de secado. Tanto en 55 °C como en 65 °C se presentaron las velocidades muy constantes y decrecientes, no se presentaron periodos de velocidades intermitentes, esto se puede notar también en la figura 2.

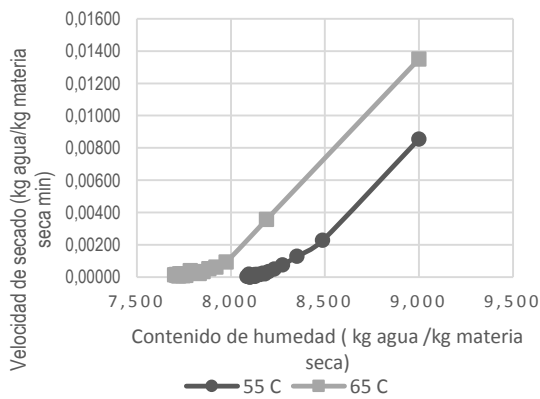


Fig. 3. Variación de la velocidad de secado en función del contenido de humedad a 55 °C y 65 °C en el secador eléctrico.

### 3.2 Secado solar directo y cielo abierto

La figura 4 muestra las temperaturas alcanzadas en el interior de las cámaras de secado de los secadores funcionando con convección natural y la irradiancia durante el día analizado como ejemplo.

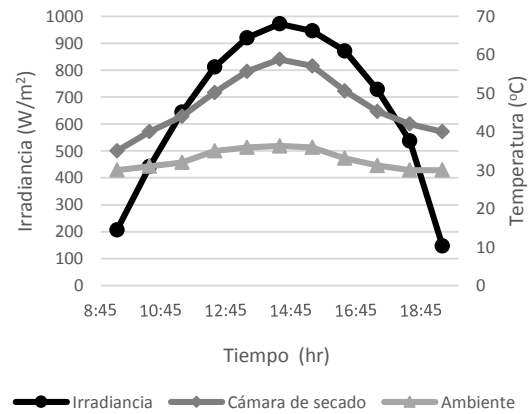


Fig. 4. Comportamiento de la irradiancia solar, la temperatura al interior de la cámara de secado del secador solar directo con convección natural y la temperatura ambiente.

Como puede observarse en la figura 4, las temperaturas en la cámara de secado del secador con convección natural es relativamente elevada, se obtuvieron hasta 58 °C a las 12 del día, en este momento la irradiancia solar medida fue de 972 W/m<sup>2</sup>; un punto importante que se debe analizar es que esta irradiancia es moderada ya que se alcanzan lecturas por arriba de los 1000 W/m<sup>2</sup>, lo cual indica que el secador solar puede ser más eficiente; en cuanto a la temperatura ambiente se obtuvieron temperaturas máximas de 38 °C. La coincidencia de las temperaturas más altas en la cámara de secado con la irradiancia solar obtenida en el día de prueba es clara.

La figura 5 presenta la evolución del contenido de humedad de las semillas en el secador funcionando con convección natural.

67

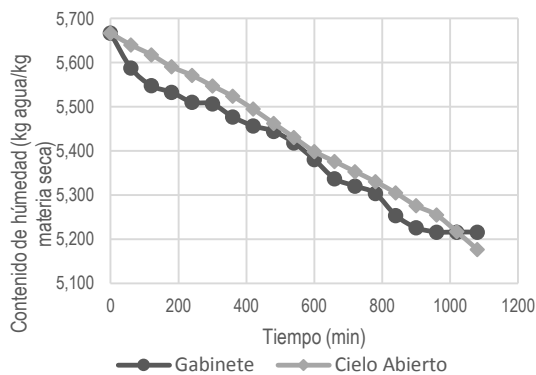


Fig. 5. Variación del contenido de humedad en los secadores solares con convección natural y a cielo abierto.

Como se puede observar, la cinética a convección natural en este tipo de secadores es mucho más rápida que la correspondiente a cielo abierto, debido básicamente a que se obtiene una mayor temperatura, a causa de un menor intercambio térmico con el aire que se encuentra a una velocidad baja. En el caso de cielo abierto se alcanza una temperatura menor a debido a una mayor circulación del aire ambiente en el área de secado, resultando una temperatura menor que en el caso de la convección natural. Este efecto se puede observar en los tiempos correspondientes de secado, en donde se tiene para convección natural 1020 minutos y 1500 minutos para cielo abierto.

La Gráfica 6 presenta la variación de las velocidades de secado en el secador directo y cielo abierto en función del contenido de humedad.

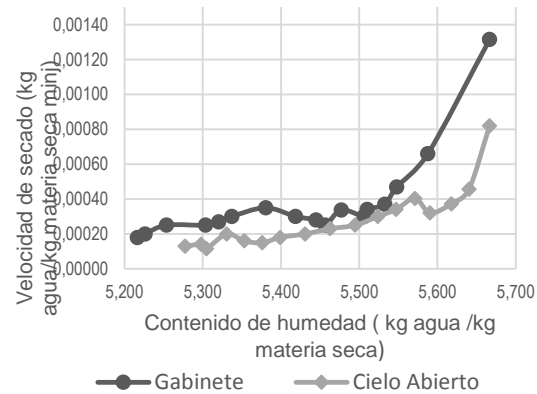


Fig. 6. Variación de la velocidad de secado con respecto a la variación del contenido de humedad obtenido con los secadores solares con y sin convección forzada.

En el caso del secador con convección natural no se observó ningún periodo de velocidad constante, la velocidad más alta fue la de convección natural con un tiempo de secado de 1020 minutos. Resulta importante comparar este tiempo con el obtenido en el horno eléctrico a 65 °C, en el que se encontró la velocidad más alta en un tiempo de secado de 1080 minutos (muy cerca de los tiempos de secado obtenidos en el secador directo con convección natural).

## Conclusiones

Las cinéticas de secado bajo condiciones controladas mostraron tiempos de deshidratación entre 18 horas sol y 21.3 horas sol a 55 °C y 65 °C, respectivamente, siendo lo óptimo 65 °C. Los tiempos de secado obtenidos en el gabinete solar con convección natural fueron más cortos que en el caso de secado a cielo abierto, 17 horas para convección natural y 25 horas en cielo abierto, por lo tanto, se encontró que el secado solar directo en secador de gabinete con convección natural es muy similar a las condiciones controladas de 55 °C y 65 °C, en días con temperaturas y sol relativamente elevados, por lo tanto, se encontró que es



68

muy justificado promover este tipo de tecnología debido a que en convección natural se pueden alcanzar temperaturas más altas o cercanas a los 55 °C. Es importante mencionar que el secado a cielo abierto resultó ser la tecnología más lenta además de los inconvenientes que resultan debido a la exposición del producto a deshidratar a las condiciones climáticas y a los insectos, roedores, etc., lo cual contribuye a disminuir la calidad del producto final.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que es factible el secado solar de la semilla de marañón (nuez de la India) mediante el secado solar en gabinete, obteniendo una ventaja considerable sobre el secado en horno eléctrico debido a que se logra alcanzar un ahorro energético importante con poca inversión y mínimo mantenimiento, obteniendo un producto deshidratado de alta calidad, contribuyendo además al cuidado del medio ambiente.

### Referencias Bibliográficas

- Cristhian Leonardo Pabón Rojas, Elkin Flórez S, Juan Carlos Serrano Rico (2019). *Diseño del álabe de un aerogenerador horizontal de baja potencia*. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 17(1):219-229
- SENER-Gobierno de la República Mexicana. *Plan nacional de Desarrollo 2013-2018*. Programa especial para el aprovechamiento de las energías renovables.
- Conacyt-Gobierno del Estado de Campeche. (2014). *Agenda Estatal de Innovación de Campeche. Documentos de trabajo*.
- Galdámez Cáceres Antonio. (2004). *Guía técnica del cultivo del marañón*. Programa Nacional de frutas de El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1ª. Edición.
- Moro CO, Basile G. (2000). *Obesity and medicinal plants*. *Fitoterapia*.71:73–82.
- Romero Indira, et. al. (2016). *Fortalecimiento de la cadena de valor de los snacks nutritivos con base en fruta deshidratada*. Documentos de Proyecto. Naciones Unidas-CEPAL-Gobierno de El Salvador.
- Recio Colmenares Roxana Berenice, Recio Colmenares Carolina Livier, Pilatowsky Figueroa Isaac (2019). *Estudio experimental de la deshidratación de tomate verde (Pysalis ixocarpa brot)* utilizando un secador solar de tipo directo Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. (1):76-86
- Banchero Luján, Carballo Sergio, Telesca Juan, (2008). *Manual de secado solar de especies medicinales y aromáticas para predios familiares*. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA, Montevideo – Uruguay.
- M. Augustus Leon, S. Kumar, S.C. Bhattacharya. (2002). *A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers*. *Renew Sustain Energy Rev*, 6 (4) pp. 367–393.
- Jeff MJ. (Pharm D). (2002). *Therapeutic Research Facility*. Natural Medicines Comprehensive Database, 4th ed.
- \*Para citar este artículo: Castillo Téllez Margarita ; Ovando Sierra Juan Carlos ; Lezama Zárraga Francisco ; Mex Álvarez Diana C . *Nut drying of India cultivated in Campeche, México through direct solar technologies and under controlled conditions*. *Revista Bistua*.2019.17(3):60-69.



+ *Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas:* Castillo Téllez Margarita. Energía solar térmica, Universidad Autónoma de Campeche.  
Email:mcastill@uacam.mx

Recibido: Octubre 29 de 2018

Aceptado: Enero 25 de 2019