

Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada

MARROQUÍN-CANO, Sergio F.*†, RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y.

Universidad Politécnica de Chiapas

Recibido 3 de Abril, 2017; Aceptado 2 de Junio, 2017

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto para remoción de humedad de rebanadas de mango ataulfo (*Mangifera indica*-L.) de 2mm de espesor. Se utiliza energía solar como fuente de calor para la deshidratación por medio de un concentrador solar cilindro-parabólico. El sistema aprovecha una irradiancia diaria promedio de 611W/m², correspondiente al municipio de Suchiapa, Chiapas; utiliza aire como fluido de trabajo, calentado hasta una temperatura de 350°C dentro del tubo receptor. La temperatura del aire circundante para la deshidratación oscila entre 40°C-50°C. Se implementó un sistema de control de temperatura con sensores y ventiladores (que se accionan en caso de que se excedan estos valores) dentro de la cámara de secado, alimentado mediante módulos fotovoltaicos de 50W. La cámara de secado almacena 5 kg de mango, manteniéndolo en las condiciones especificadas durante un periodo de 13 horas para obtener un producto deshidratado con el 18% de humedad en base húmeda (cociente de la masa de agua contenida en el producto entre su masa total). El objetivo del proyecto es mostrar el desempeño de un nuevo diseño de deshidratador solar, competitivo con los existentes en el mercado, y que genere un producto de calidad.

Deshidratador solar, cilindro-parabólico, mango deshidratado

Abstract

In this work the design and construction of an indirect solar dehydrator for the removal of moisture from slices of mango ataulfo (*Mangifera indica* L.) of 2mm thickness is presented. Solar energy is used as the heat source for dehydration by means of a parabolic-cylinder solar concentrator. The system uses an average daily irradiance of 611W/m² corresponding to the municipality of Suchiapa, Chiapas; air as working fluid is used, heated to a temperature of 350° C inside the receiver tube. The temperature of the surrounding air for the dehydration oscillates between 40°C-50°C. A temperature control system with sensors and fans (which they are activated if these values are exceed) was implemented inside the drying chamber, powered by 50W photovoltaic modules. The drying chamber stores 5 kg of mango, kept in the specified conditions for a period of 13 hours, obtaining a dehydrated product with 18% moisture in the wet base (quotient between the mass of water containing in the product and its total mass).The objective of this project is to show the performance of a new design of solar dehydrator, competitive with the current ones in the market, and that generate a product of quality.

Solar dehydrator, Cylinder-parabolic, dehydrated mango

Citación: MARROQUÍN-CANO, Sergio F., RUIZ-ARROYO, Jesús E., ROBLES-OCAMPO, José B. y SEVILLA-CAMACHO, Perla Y. Diseño y construcción de un deshidratador solar indirecto de mango ataulfo por convección forzada. Revista de Innovación Sistemática 2017. 1-2:9-18

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jrobles@upchiapas.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La deshidratación es un proceso ampliamente usado para la preservación de alimentos perecederos, constituye una alternativa eficiente y de bajo costo. Existe gran variedad de métodos de deshidratación de alimentos, no obstante, los más usados son los que emplean energía térmica (calor) para su funcionamiento, este calor puede provenir de fuentes de energía convencionales derivadas de la quema de hidrocarburos o de energía eléctrica que a la vez provienen de fuentes diversas. En el marco de la preservación medioambiental, el uso de fuentes renovables para la deshidratación de alimentos ha tomado gran enfoque, debido a la formación de procesos sustentables en el funcionamiento de los sistemas empleados para este fin, principalmente la energía solar. La deshidratación de alimentos mediante el uso de energía solar como fuente de energía térmica se ejecuta en sistemas denominados secadores o deshidratadores solares, compuestos principalmente por dos partes constituyentes fundamentales: un colector solar y una cámara de secado.

Los secadores solares más comunes realizan un proceso muy simple para su funcionamiento: se calienta un fluido dentro del colector solar, posteriormente se transporta por acción de la gravedad u otra fuente de flujo hacia la cámara de secado, donde mediante la interacción con el fluido caliente se evapora el agua de la materia a secar con el paso del tiempo, hasta alcanzar el nivel de humedad requerido.

Estos sistemas han demostrado su beneficio en comunidades en vías de desarrollo o rurales, siendo principalmente usados para la preservación de frutas de temporada; contribuyendo así en el aprovechamiento de los recursos y evitando desperdicios.

Además los materiales ocupados son de fácil obtención y cuyo costo se encuentran dentro de márgenes económicos considerables: el costo total del sistema de deshidratación, incluyendo componentes eléctricos y electrónicos, así como los módulos fotovoltaicos, ronda los \$5,000 MNX.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un deshidratador solar indirecto de convección forzada para la deshidratación de rebanadas de mango ataulfo de la región, basándose en estudios preliminares de este tipo, como los propuestos por Alongue & Ominiwa (2012) y Akoy et. al. (2003).

Consideraciones del diseño.**Parámetros asociados al colector solar**

El tipo de colector solar seleccionado para suministro de energía térmica en el sistema de deshidratación, es el denominado concentrador solar cilindro-parabólico (CCP). Los parámetros de importancia asociados a este tipo de concentrador solar se presentan a continuación:

Recurso solar en el emplazamiento

Para el cálculo de la irradiancia, el cual refleja el recurso solar del emplazamiento, se siguieron los modelos dados por Foster et al. (2010), programando un algoritmo informático que calcula la irradiancia cada 16 minutos para un día completo, lo que permitió determinar la irradiancia promedio diaria para el lugar de emplazamiento del colector y la cámara de secado.

Área de abertura (A_a)

Ésta puede determinarse con la ecuación (1) dada por Pinedo & Asmat (2010) dicha área es la superficie imaginaria de la parábola que será perpendicular a los rayos solares incidentes, siendo la utilizada para reflejar estos al receptor en el sistema de concentración.

$$A_a = 4zp \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

Donde z , es la profundidad de la parábola, factor que se relaciona con la proyección en tres dimensiones de dicha geometría, siendo la dimensión de ésta sobre un eje z imaginario, suponiendo que la parábola se bosqueje en un plano XY ; p es la distancia focal, distancia del vértice de la parábola a su punto focal y ϕ es el ángulo de abertura, ángulo generado entre el eje de simetría de la parábola y una recta que une al punto más alto considerado en la superficie de esta y su punto focal.

Distancia focal (p)

La distancia focal de una parábola utilizada en un sistema de concentración se puede expresar en función de la anchura de la lámina ocupada para su estructuración, parámetro que geoméricamente representa la longitud de arco de la parábola S , esta relación se expresa matemáticamente en la ecuación (2).

$$p = \frac{S}{2[\sqrt{2} + \ln(1 + \sqrt{2})]} \quad (2)$$

Balance de energía

Considerando los parámetros asociados a la transferencia de calor, se puede determinar la temperatura alcanzada por el fluido de trabajo en el tubo receptor del sistema de concentración parabólico, mediante la ecuación (3).

$$T_m = T_0 + \frac{IA_a\gamma\eta}{\dot{m}c_p} \quad (3)$$

Donde T_m , es la temperatura media máxima dentro del tubo receptor; T_0 , es la temperatura ambiente; I es la irradiancia del emplazamiento; A_a es el área de abertura de la parábola; γ la reflectancia del material ocupado para la formación de la superficie parabólica; η es un factor asociado al rendimiento del sistema; \dot{m} es el flujo másico del fluido de trabajo dentro del tubo receptor y c_p es el calor específico a presión constante del mismo fluido.

Parámetros asociados a la cámara de deshidratación

En general, independientemente de la forma geométrica u otros aspectos, la cámara de secado depende de los parámetros que a continuación se exponen.

Cantidad de agua a remover del fruto (m_w)

La cantidad de agua a evaporar del fruto se encuentra en función de los porcentajes de humedad inicial y final de dicho cultivo, expresado en la ecuación (4), dada por Sodha et al. (1987):

$$m_w = \frac{m(M_0 - M_f)}{100 - M_f} \quad (4)$$

Donde m es la masa de agua de la muestra a deshidratar; M_0 es el contenido de humedad inicial en la muestra y M_f su contenido final, ambos parámetros expresados en base húmeda.

Balance de energía

Para la deshidratación del mango ataulfo se puede expresar que el calor latente de vaporización del agua removida del fruto debe ser igual al calor sensible percibido por el fluido de trabajo. Realizando un balance de energía, tal como el hecho por Alongue & Ominiwa (2012), esto se puede expresar en la ecuación (5):

$$\dot{m}_w L_V = \dot{m}_f C_p (T_i - T_s) \quad (5)$$

Donde \dot{m}_f , es el flujo másico del fluido de trabajo; \dot{m}_w es el flujo másico de agua que se evapora en el proceso de deshidratación; L_V es el calor latente específico de vaporización del agua; C_p es el calor específico a presión constante del fluido de trabajo; T_i y T_s son las temperaturas dentro y a la salida de la cámara de secado, respectivamente, de dicho fluido.

La ecuación (5) puede expresarse como una función para determinar el tiempo de retención del fruto dentro de la cámara de deshidratación a unas condiciones del fluido de trabajo dadas, expresadas en la ecuación (6):

$$t = \frac{\dot{m}_w L_V}{c_p \rho A_v v (T_i - T_s)} \quad (6)$$

Donde A_v es el área de ventilación en el deshidratador; v es la velocidad del fluido de trabajo y ρ es su densidad.

Condiciones de diseño

La Tabla 1 muestra las condiciones tomadas en cuenta para los cálculos. Estas condiciones se asocian al emplazamiento del deshidratador solar y del fruto a deshidratar.

Concepto	Condición
Condiciones ambientales	
Lugar de emplazamiento	Suchiapa, Chiapas.
Periodo de pruebas	Mayo-Julio de 2017
Irradiancia promedio por día	611 W/m ²
Condiciones del cultivo	
Lote de secado	5 kg de pulpa
Humedad	81-18% Base húmeda
Calor latente de vaporización	2.26×10 ⁶ J/kg
Consideraciones del concentrador	
Ancho de la lámina	0.9 m
Profundidad de la parábola	1.8 m
Ángulo de abertura	90°
Reflectancia	91%
Eficiencia	70%
Consideraciones de la cámara de secado	
Área de ventilación	0.016 m ²
Temperatura media en el interior	47°C
Temperatura media a la salida	41.44°C
Densidad del aire	1.1095 kg/m ³
Calor específico del aire	1007 J/kg °C

Tabla 1 Condiciones de operación del deshidratador

Fuente: *Elaboración propia*

Construcción del sistema

Construcción del sistema de colección solar

El concentrador solar fue conformado con ayuda de dos estructuras de soporte: la primera, Figura 1(a), es una base para la colocación de la lámina que conformaría la parábola, perfiles zintro fueron cortados y soldados, las dimensiones se ajustaron a las dimensiones de la lámina y la geometría parabólica calculada. La segunda estructura, Figura 1(b), es un pedestal, el cual permitirá mantener al sistema de colección alejado del suelo, evitando así interacciones con polvo y pequeños animales.

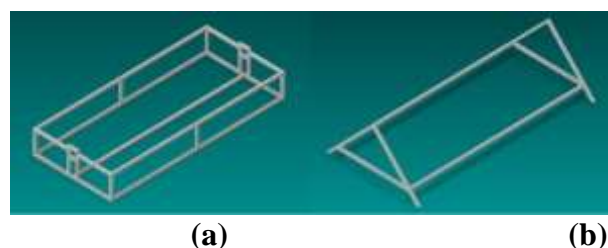


Figura 1 Elementos del concentrador solar. (a) Base de la parábola. (b) Pedestal

Fuente: *Elaboración propia*

Posterior a la conformación de las estructuras se colocó la lámina, asegurándola en puntos estratégicos que permitieron dar una geometría óptima a la parábola. Finalmente se colocó el tubo receptor en los huecos asignados para éste en la estructura. El diseño asistido por computadora se presenta en la Figura 2(a), junto a la fotografía del sistema de concentración en la Figura 2(b).

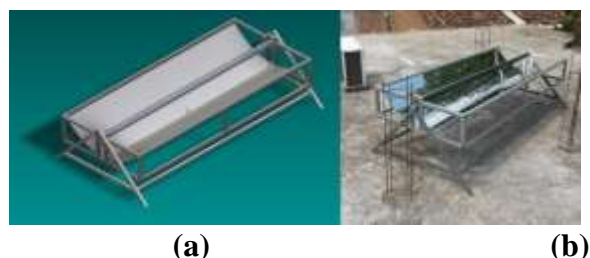


Figura 2 Sistema de concentración solar. (a) Diseño asistido por computadora. (b) Sistema de concentración real

Fuente: *Elaboración propia*

Construcción de la cámara de secado

Se construyó una cámara de secado tipo gabinete con dimensiones de 0.28 m x 0.60 m x 1.36 m, el cual tiene una puerta corrediza en la parte frontal que se desliza hacia el frente. Se encuentra cerrada herméticamente mediante rieles de la misma madera, esta alternativa evita pérdidas de energía térmica.

En las partes laterales de la cámara se encuentran las áreas de entrada y salida de aire, a su vez en la parte izquierda, ubicado a 0.32 m de la base del gabinete se realizó un orificio para la conexión con el concentrador solar. Toda la cámara está hecha de madera, material elegido por su bajo costo comparado con el de estructuras metálicas aisladas térmicamente en el interior; para lo cual se utilizaron tablas de 0.28 m x 3.0 m. En el interior del gabinete se encuentran 6 charolas con dimensiones de 0.20 m x 0.56 m, hechas de tela para mosquitero de plástico y marco de madera, sobre las cuales se colocaría el fruto a secar. Estas charolas se encuentran separadas 0.15 m cada una y sostenidas por barras de madera fijadas con clavos al interior de la cámara. La primera de éstas se encuentra localizada a 0.32 m de la base del gabinete, el diseño asistido por computadora de la cámara de secado se presenta en la Figura 3



Figura 3 Diseño asistido por computadora de la cámara de secado

Fuente: *Elaboración propia*

Sistema de control

Tres sensores de temperatura fueron puestos dentro de la cámara de deshidratación, uno tipo DHT11 para humedad y temperatura en la parte inferior, otro tipo DS18B20 para temperatura en la parte media y el restante en la parte superior del tipo DHT22 para el monitoreo de humedad y temperatura. El criterio de selección de dichos sensores se basó en sus rangos de medición y todos ellos son conectados a una placa Arduino® de donde se extraen los datos de medición para almacenarlos en una tarjeta de memoria SD. En otra derivación del mismo circuito se conectaron dos ventiladores, dirigidos hacia dentro de la cámara de deshidratación, el primero de ellos se localizó en la base de esta y fue programado para activarse en caso de que la temperatura interna sea mayor a 60 °C, el ventilador restante se encuentra dispuesto en el ducto de conexión entre la cámara y el colector solar, es el responsable de accionar el flujo de aire caliente para distribuirse dentro de la cámara y así interaccionar con el mango removiendo su humedad. Este sistema eléctrico es alimentado por un sistema fotovoltaico autónomo de 50 W a 12 V, que se acopló mediante un regulador de voltaje tipo 7805 para los circuitos derivados que requieran una alimentación menor a 12 V. Las características del módulo fotovoltaico se presentan en la Tabla 2.

Marca	Solartec®
Mecánicas	
Tipo	Policristalino
Dimensiones	0.83mx0.53m x 0.05m
Peso	6.08 kg
Eléctricas	
Potencia nominal	50 W
Voltaje nominal	12 V
Corriente máxima (I_{mpp})	2.9 A
Voltaje máximo (V_{mpp})	17.5 V

Tabla 2 Características del módulo solar

Fuente: *Elaboración propia*

Resultados

Cálculos de diseño

Los valores obtenidos de los cálculos de diseño, considerando las condiciones de operación del sistema (presentadas en la Tabla 1), se presentan en la Tabla 3.

Parámetro	Valor	Relación utilizada
Concentrador solar		
Área de abertura	1.41 m ²	Ecuación (1)
Distancia focal	19.6 cm	Ecuación (2)
Temperatura media máxima en el receptor	350.36°C	Ecuación (3)
Cámara de secado		
Cantidad de agua a secar del cultivo	3.84 kg	Ecuación (4)
Periodo de deshidratación	13 horas	Ecuación (6)

Tabla 3 Valores obtenidos de los cálculos

Fuente: *Elaboración propia*

Una vista del sistema completo se presenta en la Figura 4.



Figura 4 Sistema de deshidratación completo

Fuente: *Elaboración propia*

Caracterización del colector solar

Con ayuda de un termómetro infrarrojo digital marca Steren® modelo HER-425 (con un rango de temperatura de -20°C a 350°C), se monitoreó la temperatura del fluido en el interior del tubo receptor, (el cual consiste en un tubo de cristal de boro silicato al vacío tricapa Co/Al-N/Al, marca Sunnergy® de 1.8 m de longitud y 0.058 m de diámetro), el día 07 de mayo de 2017 durante un periodo de aproximadamente 3 horas. Los datos registrados se muestran en el Gráfico 1.

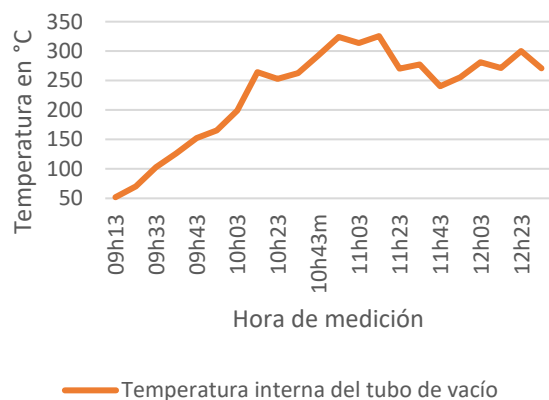


Gráfico 1 Comportamiento de la temperatura en el interior del tubo de vacío

Fuente: *Elaboración propia*

La curva muestra un constante incremento de la temperatura con el transcurso del tiempo, hasta llegar a un pico máximo, registrado a las 11h13 horas; en las horas siguientes se nota una variación entre los 250°C - 300°C ; este comportamiento se debe a los intervalos nubosos y a las condiciones climáticas que se presentaron en este periodo, correspondientes a 31°C de temperatura ambiente con rachas de vientos de entre 6.944 m/s -7.5 m/s, así como una humedad relativa del 50 %.

Otros factores incluyen la fecha del año misma en conjunto con la ubicación del municipio, ambas condiciones afectan directamente al recurso solar en este emplazamiento.

Pruebas de deshidratación

Se colocaron 5 kg de pulpa de mango ataulfo, cortado en rebanadas con un espesor de aproximadamente 2 mm, dentro de la cámara de deshidratación. Las muestras fueron previamente tratadas con un proceso de deshidratación osmótica, siguiendo la metodología propuesta por Zapata-Montoya & Castro-Quintero (2015); mediante sensores de temperatura se monitorearon dichos parámetros durante el proceso de deshidratación. Los datos registrados se presentan en el Gráfico 2.

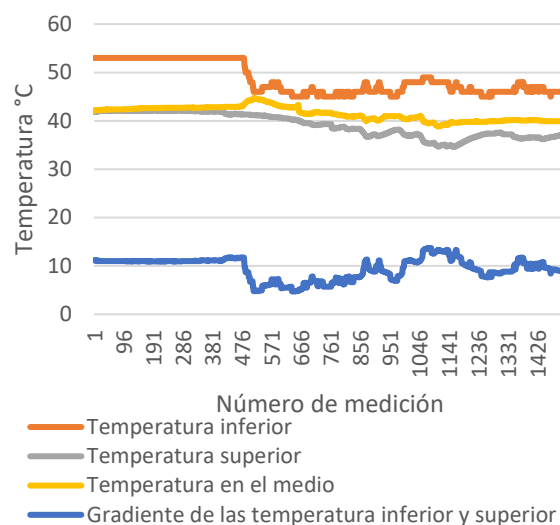
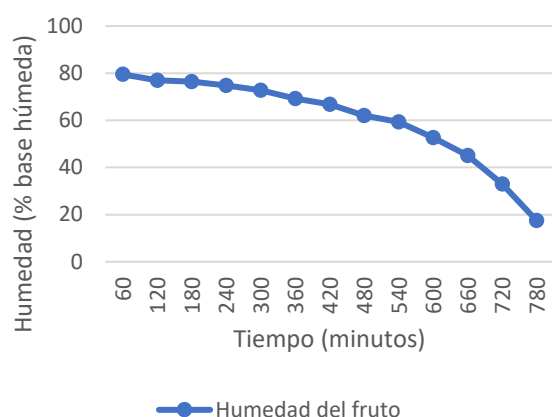


Gráfico 2 Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado

Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara de deshidratación se mantiene casi constante con pequeñas variaciones no mayores a 8°C debidas principalmente a las variaciones mismas en los niveles de irradiancia percibidos por el colector.

Los datos de mayor magnitud son sensados en la parte inferior de la cámara, debido a que la entrada de aire caliente se encuentra localizada en esta zona, por su parte los valores mínimos se registran en la zona superior y su razón se encuentra en que el aire al circular por esta región ya ha extraído parte de la humedad del fruto. Para obtener un registro del comportamiento de la pérdida de humedad en el mango ataulfo se ópto por retirar las muestras cada 60 minutos durante el periodo estimado para la deshidratación; con ayuda de una balanza analizadora de humedad marca Ohasus® modelo MB-23 con precisión de $\pm 1\%$, se obtuvieron los datos que se muestran en el Gráfico 3.



Gráfica 3 Pérdida de humedad en el mango ataulfo

Fuente: *Elaboración propia*

La curva muestra un comportamiento decreciente con el paso del tiempo hasta alcanzar un nivel de humedad de 17.5 % en base húmeda, posterior a todo el proceso de deshidratación. Una vista del fruto después del proceso de deshidratación se presenta en la Figura 5.



Figura 5 Charolas con rebanadas de mango ataulfo después del proceso de deshidratación.

Fuente: *Elaboración propia*

Conclusiones

En lo referente al comportamiento del colector solar y la cámara de deshidratación, en la mayor parte de sus parámetros, se obtuvo que los modelos teóricos seleccionados de investigaciones preliminares, como las presentadas por Alongue & Ominiwa (2012) y Akoy et. al.(2003), aproximan sus resultados al del comportamiento del sistema deshidratador, no obstante los gradientes de temperatura en el interior de la cámara de deshidratación no pudieron ser precedidos teóricamente con exactitud; una caracterización y consideración de diseño exacta requiere el estudio y la inclusión de un modelo teórico que permita calcular la distribución de temperatura del fluido de trabajo a lo largo del trayecto por el sistema de deshidratación. Dicho modelo pudo haber precedido que la inclusión del ventilador (cuya función era regular la temperatura interna de la cámara, a través de la remoción de aire caliente, en caso de que esta superara los 60°C) no era necesaria, ya que no se llegaron a exceder valores mayores a 52 °C en el interior de la cámara.

Por su parte, para la deshidratación del mango ataulfo, se necesitan 13 horas del fruto dentro de la cámara, aprovechando su capacidad máxima que es de 5 kg de pulpa, en condiciones de temperatura de entre 45°C y 51 °C; considerado las horas de sol de un día convencional se requiere de dos sesiones de secado con una duración de 6.5 horas cada una, obteniendo un nivel del 17.5 % de humedad en base húmeda para las muestras con mayor índice de deshidratación. Para mejorar el rendimiento del sistema, se pudo percibir que es necesario el uso de otro tipo de materiales en la cámara de deshidratación y en las conexiones con el colector, principalmente metales aislados térmicamente en su interior que no sufran dilataciones debido a la exposición a altas temperaturas, ya que el uso de madera presentó este inconveniente notorio a lo largo de las pruebas realizadas, además de ser causa de pérdidas energéticas en el ducto de conexión entre la cámara de deshidratación y el colector solar, inclusive al ser aislado con fibra de vidrio. El sistema de deshidratación conformado demostró ser una nueva alternativa para la construcción de estos sistemas, presentando un potencial que puede ser explotado mediante la implementación de mejoras que aumentarán su rendimiento global.

Referencias

- Alongue, A.F. & Ominiwa, A. (2012). Development and Modification of a Direct Passive Solar Dryer. *NABEC/CSBE*, 12, 3-7.
- Akoy, E., Ismail, M., Ahmed, E., & Luecke, W. (2003). Design and Construction of A Solar Dryer for Mango Slices (pp. 1-7). Gottingen, Germany: University of Gottingen. Retrieved from: <http://www.tropentag.de/2006/abstracts/full/501>
- Aravindh, M.A. & Sreekumar, A. (2015). Solar Drying. A Sustainable Way of Food-Processing. Centre for Green Energy Technology, Pondicherry University, Pondicherry 605014, India.
- Bazán-Díaz, J.O. (2009). Diseño de sistema concentrador solar cilíndrico-parabólico para proceso de deshidratación de alimentos automatizado con espejos reflectantes. Universidad de Piura, Facultad de ingeniería mecánico-eléctrica. Piura Perú.
- Buitrago-Huertas, C.A. (2014). Estudio preliminar para la deshidratación solar de mango (*Mangifera Indica L. var. Común*) en Colombia. (Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Ingeniería de Procesos de Alimentos y Biomateriales). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá, Colombia.
- Durán, P., Barbosa, J., Quinto, P., & Moreno, L. (2016). Concentrador Solar PDR Con Seguimiento Solar. *Revista De Aplicaciones De La Ingenieria*, 3(9), 99-100.
- Foster, R., Ghassemi, M., Cota, A. (2010). Solar energy, renewable energy and the environment. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Gupta, P.M., Das, A.S, Barai, R.C., Pusadkar, S.C. & Pawar, V.S. (2017). Design and Construction of Solar Dryer for Drying Agricultural Products. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*.

- Hernández-Venegas, C. & González-Avilés, M. (2016). Desarrollo de un deshidratador solar indirecto por convección forzada, con colector solar de concentración usando la óptica anidólica. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Pátzcuaro, Mich., México.
- Ibarra-Muños, E., Castañeda-Losoya, P. & Alvarado-Bañuelos, G. (2016). Sistema de adquisición de datos para un deshidratador de alimentos solar en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 3 (6), 42.
- Juárez-Borbonio, J., Ventura- De la paz, C., Flores Sánchez, V. & Chama-Esteban, J. (2016). Medición y Análisis puntual de la radiación global disponible, en Cuitláhuac, Veracruz para los años 2014 y 2015. *Revista de Energía Química y Física*, 3 (9), 25-26.
- Khashab, H., Ghamedi, M. (2015). Comparison between hybrid renewable energy systems in Saudi Arabia. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*.
- Kumar, M., Sansaniwal, S.K., Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Molina-García, M. & Melchor-Hernández, C. (2016). Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. *Revista De Aplicaciones De La Ingeniería*, 3(8), 9-16.
- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S. & Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B.K. (2016). Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renewable Energy*.
- Pinedo, A.A. & Asmat, D.C. (2010). Análisis teórico-experimental del colector solar cilíndrico parabólico. Universidad Privada del Norte-Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo Perú.
- Saiz-Jiménez, J.A. & Cornejo-Royo, L. (2014). Food drying by solar energy. *3C Tecnología*, .3 (4).
- Sharma, A., Chen, C.R., Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review. ROC. Department of Mechanical Engineering, Kun Shan University; Da-Wan Road, Yung-Kang City, Tainan Hsien, Taiwan.
- Sodha, M. S., Bansal, N. K., Kumar, A., Bansal, P. K & Malik, M. A. (1987). Solar crop drying. Vol. I and II. CPR press, Boca Raton, Florida, USA.
- Torres, J., Hernández, O., Arce, G. & Vizuet, J. (2016). Secado de nopal (*Opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Revista de Energía Química y Física*, 3 (6), 40-44.
- Zapata-Montoya, J.E. y Castro-Quintero, G. (2015). Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 52 (1).