

Secado de frutas y verduras con energía solar

HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor*†, OLVERA-GARCÍA, Omar, GUZMÁN-TINAJERO, Pedro, MORILLÓN-GÁLVEZ, David

Universidad Nacional Autónoma de México, FES Cuautitlán, Estado de México y Cd. Universitaria, Ciudad de México, México

Recibido Enero 27, 2017; Aceptado Mayo 31, 2017

Resumen

El secado de productos alimenticios, es un método para la conservación de los mismos, ya que impide la proliferación de microorganismos evitando su putrefacción mediante la extracción del agua que contienen, proceso que en ocasiones se lleva a cabo evaporando el agua por adición de calor latente y su velocidad de secado esta en relación a la velocidad del suministro de calor latente. En este documento se presentan los resultados de secar frutas y verduras con energía solar. Se presenta brevemente una descripción del secador solar empleado, la instrumentación empleada y el proceso experimental que se llevó a cabo en cada una de las pruebas. Se incluyen gráficas del comportamiento de la cámara de secado y de la radiación solar recibida durante una de las pruebas. La energía solar puede ser empleada como una buena fuente de suministro de calor para la deshidratación de productos agrícolas como las verduras y frutas, reduciendo el costo de producción por los gastos de energía eléctrica o en su caso de quema de combustibles empleados para producir aire caliente. Esto a su vez, aporta una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, debido al origen de la energía.

Secado solar, deshidratado, colector solar

Abstract

The drying of foodstuffs is a method for the conservation of the same, since it prevents the proliferation of microorganisms avoiding their putrefaction by extracting the water they contain, a process that is sometimes carried out by evaporating the water by adding latent heat and its drying rate is in relation to the rate of latent heat supply. This paper presents the results of drying fruits and vegetables with solar energy. A description of the solar dryer used, the instrumentation used and the experimental process that was carried out in each of the tests is briefly presented. It includes graphs of the behavior of the drying chamber and of the solar radiation received during one of the tests. Solar energy can be used as a good source of heat supply for the dehydration of agricultural products such as vegetables and fruits, reducing the cost of production by the expenses of electric energy or in case of burning of fuels used to produce hot air. This in turn, contributes a reduction in the emission of greenhouse gases, due to the origin of the energy.

Solar drying, dehydrated, solar collector

Citación: HERNÁNDEZ-GÓMEZ, Víctor, OLVERA-GARCÍA, Omar, GUZMÁN-TINAJERO, Pedro, MORILLÓN-GÁLVEZ, David. Secado de frutas y verduras con energía solar. Revista de Sistemas Experimentales. 2017, 4-11: 22-33.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: vichugo@unam.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se encuentra el Laboratorio de Investigación en Energías Renovables, el cual ha estado trabajando en diferentes líneas de investigación, entre ellas la solar. Dentro de esta línea se tiene el proyecto de secado de frutas y verduras empleando a la energía solar, debido a que la conservación de alimentos es un factor importante en la industria alimenticia.

Los alimentos al contar con un contenido alto de humedad, generan hongos o mohos, levaduras y bacterias que hacen inservible a la comida, para evitar esto, normalmente se hace pasar aire caliente (incremento de calor latente) sobre el producto para retirar su humedad, pero debido a que ese aire se calienta con el empleo de resistencias eléctricas o procesos de combustión, incrementa el consumo de combustibles fósiles, así como la generación de gases de efecto invernadero por dicha quema de combustibles.

La energía solar se ha empleado desde la antigüedad para conseguir el mismo resultado sin afectar nuestro entorno, empleando dos tipos de secadores, el del tipo directo y el del tipo indirecto. El secador solar directo expone directamente el producto alimenticio al sol y no permite controlar ningún tipo de variable que interviene en el proceso, como es el flujo de aire, radiación solar, humedad del producto y la temperatura del aire de secado.

El secador solar indirecto, utiliza aire caliente para hacerlo pasar sobre el producto alimenticio, esto permite controlar las variables de secado del producto. El aire caliente que se utiliza se obtiene de un colector solar, el cual consiste en un panel aleteado pintado de negro, que capta los rayos del sol y transfiere ese calor al aire que se introduce a la cámara de secado.

Es necesario recalcar que después del secado, el alimento debe mantener, las propiedades naturales de aroma, sabor y una buena presencia del producto seco. Asimismo, deben minimizarse las pérdidas de los nutrientes y asegurar las medidas higiénicas y sanitarias que hagan al producto apto para el consumo humano.

Para secar los alimentos se debe de tener en cuenta la evaporación de la humedad desde la superficie de los alimentos y la emigración de la humedad del interior de los materiales a la superficie y la atmósfera. Este último considera, primero el contenido de humedad, estructura física y composición química de los alimentos, segundo la temperatura, humedad y volumen del aire circulante, tercero el tamaño de las piezas a secar. La pérdida de humedad es mayor a medida que disminuye el tamaño de la partes del alimento a secar.

Al iniciar el secado, los alimentos pierden humedad rápidamente, el movimiento del aire es más importante que la temperatura y la humedad de la atmósfera. Sin embargo, en la fase final de secado, cuando la humedad de los alimentos ha disminuido hasta alrededor del 30%, la eliminación del agua es lenta, requiriendo baja humedad del aire y las altas temperaturas del medio día para completar el proceso de secado.

En general, los procesos de secado solar tienen una duración de 1 a 3 días dependiendo de los rayos solares, el movimiento del aire, la humedad y por supuesto la característica del producto a secar.

Prototipo experimental: Secador solar

Para desarrollar el proyecto fue necesario diseñar y construir un secador solar del tipo indirecto, con apoyo de alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica como Mayra Fuentes Carreón, Salvador Martínez Sánchez, Paulino Rayón Ramírez, Guillermo Minero Castro y Alberto García Bautista. Se diseñó un prototipo que consistía en dos partes, la cámara de secado y el colector solar.

El colector solar es un panel de metal que tiene 2 m de longitud, por 1.14 m de ancho, con una altura de 0.15 m. Se utilizó como superficie absorbadora de calor lámina negra (pintada de negro mate) y para evitar pérdidas al exterior se colocó una placa de unicel de alta densidad.

La cámara de secado es un recipiente de 1.20 m de ancho por 0.80 m de longitud, con una altura de 0.70 m. Su interior se forró con unicel de alta densidad y se le colocaron ocho charolas que sirven para colocar el producto a secar. En la parte superior se diseñó una salida que permite liberar el aire caliente y húmedo, después de pasar por el producto. En la figura 1 se presenta el prototipo construido.



Figura 1 Secador solar empleado

Fuente: Elaboración propia

Metodología

Se realizaron diferentes pruebas experimentales con diferentes productos, apoyado por alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica e Ingeniería Agrícola. Las pruebas se realizaron manteniendo el producto de 4 a 13 horas dentro del secador, guardando el producto entre un día y otro para evitar que absorbiera la humedad del medio ambiente. Los productos utilizados para estas pruebas fueron fruta de temporada y verdura. Cabe hacer mención que no todas las pruebas se hicieron en forma simultánea ni se realizaron en forma consecutiva, sino en diferentes lapsos de tiempo.

El producto se cortó en rodajas o tiras (dependiendo del producto), posteriormente se pesó el producto antes y después de la prueba, considerando que la diferencia en peso fue la humedad evaporada. Después del tiempo de secado se retiraron las muestras y algunos de los productos fueron degustados por la comunidad de alumnos emitiendo sus comentarios sobre el color, sabor y textura.

Instrumentación

Se utilizaron como sensores de temperatura termopares tipo J, (Hierro (+)/Constantan (-) con tolerancia de ± 2.2 °C ó ± 0.75 %) los cuales fueron colocados con ayuda de cable acerado. Dentro de la cámara de secado se colocaron 6 termopares, 3 por cada cámara de secado.

En la placa colectora se colocaron 6 termopares, 2 en la parte inferior o entrada de la placa colectora, 2 en la parte media y 2 en la salida de la placa o parte superior. Para evitar que se midiera la temperatura radiante, a los termopares expuestos al sol en la placa colectora se les adaptó una cubierta de neopreno.

Los termopares fueron fijados en la parte posterior de la placa y unidos a un conector slim de 12 entradas ubicado en el inferior de la placa, esto con la finalidad de dar rapidez y certeza a la conexión y desconexión al equipo de adquisición de datos Fluke Net Daq 2640A. Para enviar la información al equipo de adquisición se hicieron cables de transmisión, los cuales tienen conectores slim con entradas tipo macho en un extremo, estos cables, se conectaron directamente al módulo de entrada universal.

Para el flujo de aire se colocó un flujómetro Fluke 922 (tolerancia de $\pm 2.5\%$) y para la humedad un medidor de humedad relativa y temperatura Fluke 971 (termómetro con tolerancia de $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ y sensor de humedad relativa de $\pm 2.5\%$). Para las condiciones ambientales, se utilizó la estación meteorológica WIZARD III 749210 (anemómetro con tolerancia de $\pm 5\%$, pluviómetro $\pm 4\%$ y termómetro $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$) y se añadió para medir la radiación solar un Piranómetro SPLITE2 de marca Kipp & Zonen (sensibilidad de 60 a 100 $\mu\text{V/W/m}^2$ y error direccional $< 10\text{ W/m}^2$).

Para cuantificar la pérdida de humedad del producto, se decidió pesar las muestras antes y después del secado, utilizando una balanza Scout Pro marca Ohaus (tolerancia de $\pm 3\text{ mg}$). En la figura 2 se presentan algunos de los equipos empleados.



Figura 2 Instrumentación
Fuente: Elaboración propia

Resultado del secado de productos

Mango

Se consideraron 2 kg de mango sin hueso y cascara, los cuales fueron cortados en rebanadas de 1.5 cm de espesor y se distribuyeron en tres charolas de la cámara de secado, con la finalidad de que el secado fuera uniforme. En la figura 3 se presenta una muestra del producto.



Figura 3 Rebanadas de mango para la prueba
Fuente: Elaboración propia

Después de 10 horas de exposición fue retirado de la cámara de secado y la báscula registró un peso total de 1208.7 g, es decir, se redujo su peso al 60 %. El producto final contaba con buenas características de color, sabor y textura.

Con la finalidad de reducir el tiempo de secado, se realizó una segunda prueba en la cual los 2 kg de mango se cortaron en tiras de 1 cm y se distribuyeron en 3 charolas. En esta prueba y por solicitud de los alumnos, a 500 g del producto se le agregó una mezcla de sal con chile. En la figura 4 se observa el producto a secar.



Figura 4 Tiras de mango para la prueba
Fuente: Elaboración propia

Después de 5 horas de secado fue retirado de la cámara de secado y pesó 1.250 g, es decir, se redujo al 62 % de su peso. El producto final contaba con buenas características de color, sabor y textura.

En la figura 5 se presenta el producto obtenido. Se realizó una última prueba en la cual se colocaron 329 g de mango en rebanadas pequeñas durante 8 horas de secado. Después de ese lapso las muestras pesaron 56.8 g, es decir, que el secador retiró el 82% de su peso.



Figura 5 Producto seco
Fuente: Elaboración propia

Manzana

1 kg de manzana sin centro (corazón) fue cortado en rebanadas de 8 mm de espesor, las cuales fueron sumergidas durante 5 minutos en una solución de 2 L de agua con un limón para evitar su oxidación. Las rebanadas fueron distribuidas en dos charolas. En la figura 6 se observa la manzana lista para la prueba.

Después de 4 horas fueron retiradas de la cámara de secado. Se observó que después del secado, el producto pesaba 409.7 g, es decir, el 40% de su peso original, presentando un aspecto de oxidación, contaba con buenas características de sabor y textura. En la figura 7 se presenta la manzana seca con poca oxidación.

Para corregir el problema de oxidación, se modificó la proporción de agua y limón, incrementando este último y se dejó remojando durante 10 minutos. Se volvió a colocar 1 kg en rebanadas de aproximadamente 8 mm de espesor en la cámara de secado.



Figura 6 Charolas con manzana
Fuente: Elaboración propia



Figura 7 Manzana seca con poca oxidación
Fuente: Elaboración propia

Después de 4 horas se retiró el producto y se observó que ya no contaba con humedad pesando 380 g, es decir, redujo su peso al 38 % presentando buenas características de color, sabor y textura. En la figura 8 se presenta el producto obtenido. Se realizó una última prueba en la cual se introdujeron 412 g de manzana en rebanadas pequeñas, previamente remojadas en una solución de bisulfito de sodio e hipoclorito de sodio.

Después de 4 horas de secado el producto pesó 58 g, equivalente al 14 % de su peso. En la figura 9 se observa el producto secado.

Piña

2 kg de piña sin cáscara fueron cortados en rebanadas de 10 mm de espesor, las cuales fueron distribuidas en 2 charolas de la cámara de secado. En la figura 10 se presenta la piña empleada en la prueba.



Figura 8 Manzana seca
Fuente: Elaboración propia



Figura 9 Manzana seca
Fuente: Elaboración propia



Figura 10 Piña para el secado
Fuente: *Elaboración propia*

Después de 13 horas de exposición (prueba realizada durante dos días) se observó que el producto tenía un peso de 1.104 kg, es decir que se redujo al 55 % de su peso, se observó que todavía contaba con humedad, pero con buenas características de color, sabor y textura.

Con la finalidad de reducir tiempos de secado e incrementar la reducción de humedad, se hicieron rebanadas más delgadas, es decir, de 5 mm de espesor y se retiró el centro (corazón) de la piña. Después de 8 horas se retiraron las charolas y el producto alcanzó un peso de 900 g, es decir, se redujo al 45 % de su peso original presentando buenas características de color, sabor y textura. En la figura 11 se presenta el producto deshidratado.



Figura 11 Piña seca
Fuente: *Elaboración propia*

Papa

Se cortaron 349 g de papa en rebanadas de 5 mm de grosor, las cuales fueron remojadas en una solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio. Después de 6 horas de secado, el producto registró un peso de casi 70 g, es decir, que perdió el 80 % de su peso en la prueba. El producto presentó buenas características de color, sabor y textura. En la figura 12 se presenta el producto antes de ingresar a la cámara de secado y en la figura 13 el producto obtenido.



Figura 12 Preparación de la papa
Fuente: *Elaboración propia*

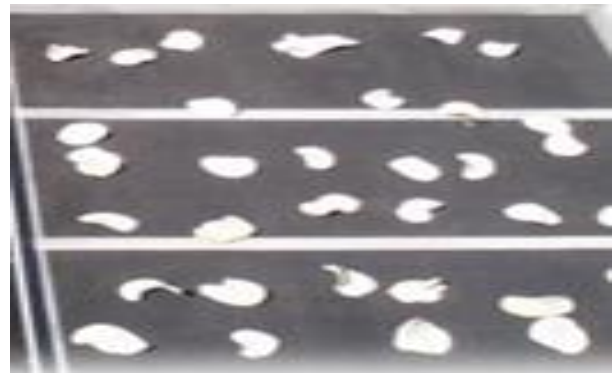


Figura 13 Papa seca
Fuente: *Elaboración propia*

Zanahoria

Se cortaron 66 g de zanahoria en rodajas de 4 mm de espesor, las cuales fueron sumergidas en la solución de bisulfito de sodio e hipoclorito de sodio para evitar su oxidación. Después de 6 horas de secado el producto resultante contó con un peso de 9 g, es decir, perdió el 86 % de su peso. El producto obtuvo buenas características de color, sabor y textura. En la figura 14 se presenta el producto a secar, así como el producto terminado.



Figura 14 Proceso de secado de la zanahoria
Fuente: Elaboración propia

Pepino

Se cortaron 409 g de pepino en rodajas de 3 mm de espesor. En la figura 15 se puede observar el producto a secar y en la figura 16 el producto seco. Después de 5 horas de secado, el producto presentó un peso de casi 49 g, es decir que perdió aproximadamente el 88 % de su peso, presentando buenas características de color, sabor y textura.



Figura 15 Pepino para la prueba
Fuente: Elaboración propia



Figura 16 Pepino deshidratado
Fuente: Elaboración propia

Naranja

Se cortaron 365 g de naranja en rodajas de 5 mm de espesor, las cuales fueron sumergidas en la solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio, para evitar su oxidación. Después de 6 horas de secado el producto pesó casi 131 g, es decir que perdió casi el 64 % de su peso.

La naranja, así como la piña son productos que contienen un alto contenido de humedad. El producto final presentó buenas características de color, sabor y textura. En la figura 17 se presentan las rodajas de naranja antes y después de la prueba.



Figura 17 Proceso de secado de la naranja
Fuente: Elaboración propia



Figura 18 Proceso de secado del plátano
Fuente: Elaboración propia

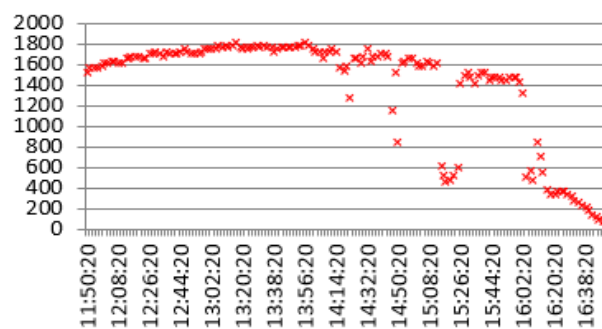
Plátano

Se cortaron 194 g de plátano en rodajas de 5 mm de espesor, los cuales fueron remojados en la solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio para evitar su oxidación. Después de 5 horas de secado el producto presentó un peso de casi 42 g, es decir, perdió casi el 79 % de su peso en el proceso. El producto final presentó buenas características de color, sabor y textura. En la figura 18 se presenta el plátano antes y después del secado.

VARIABLES DEL SECADO

En la figura 19 se presentan los valores de radiación solar de las últimas pruebas realizadas a las frutas y verduras, en las cuales el producto fue remojado en una solución de hipoclorito de sodio y bisulfito de sodio.

Radiación solar 23 de marzo W/m²



Radiación solar 24 de marzo W/m²

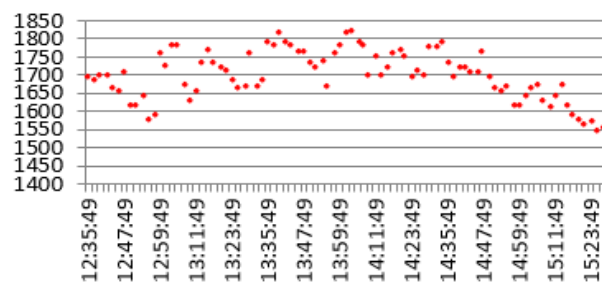


Figura 19 Radiación solar
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que durante la mayoría del tiempo de las pruebas, se obtuvieron valores altos de radiación solar, con excepción del final del primer día que presentó nubosidad. Esto ocasionó que se tuvieran valores de temperatura en el interior de la cámara de secado mayor a los 40 °C para el primer día y de 50 °C para el segundo día. En la figura 20 se puede observar los valores medidos en la cámara de secado y en el colector solar.

También se puede observar que al haber nubosidad, las temperaturas en el colector solar disminuyeron aunque las de la cámara de secado se mantuvieron casi constantes. En cuanto a la humedad relativa del aire, va incrementándose a medida que se va acumulando el vapor de agua y el aire lo va arrastrando durante su recorrido dentro del colector, dando niveles más altos de humedad en la cámara que en el colector, aparte que el vapor de agua evaporado del alimento ayuda a incrementar aún más la humedad en la salida de la cámara. Esto se puede observar en la figura 21.

El flujo de aire que se genera dentro del secador solar es por convección natural, el viento sólo interviene en las pérdidas del colector solar, en la parte del vidrio, y en la envolvente de la cámara de secado. Por lo cual, se considera que el viento no influyó en las pruebas realizadas. En la figura 22 se presenta las velocidades del viento alcanzadas durante la prueba.

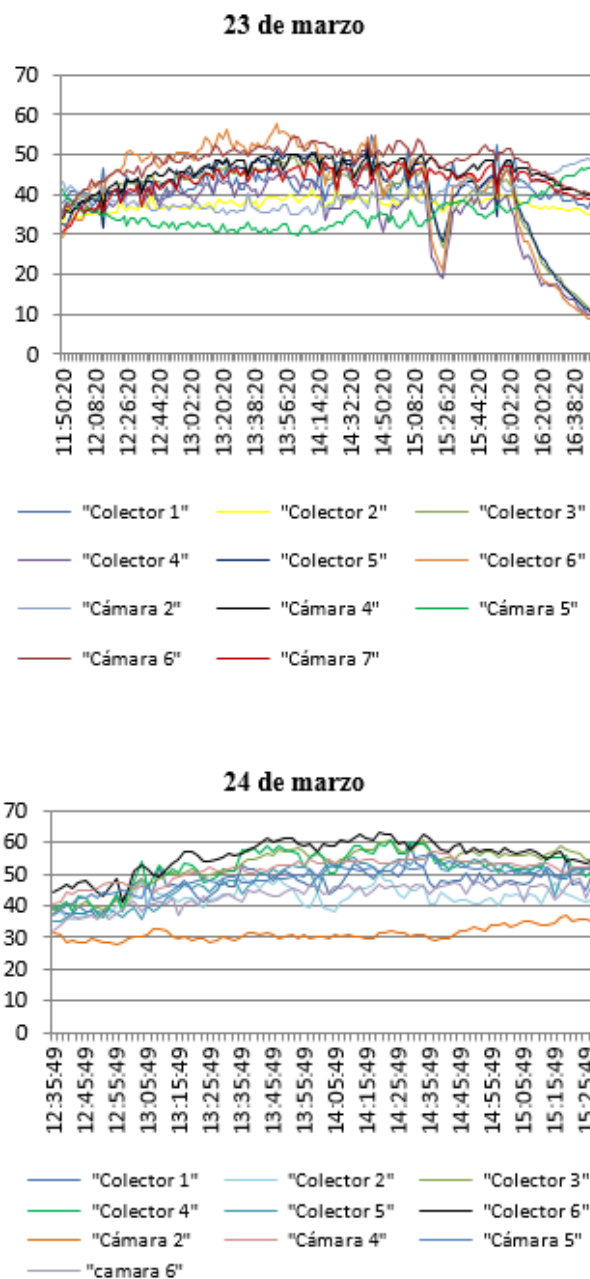


Figura 20 Temperaturas en el secador solar

Fuente: *Elaboración propia*

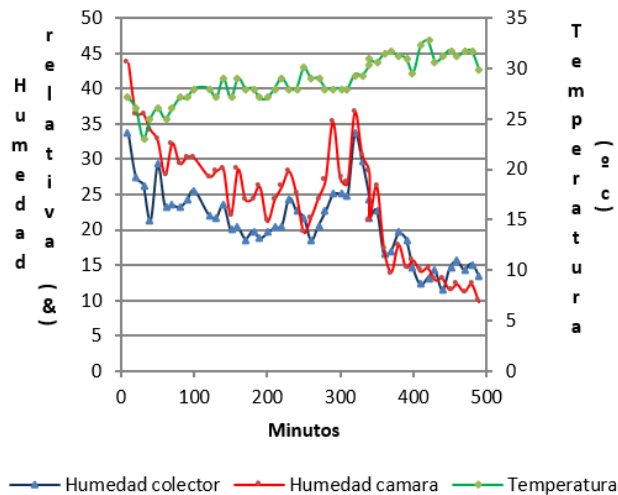


Figura 21.- Humedad en el secador solar

Fuente: Elaboración propia

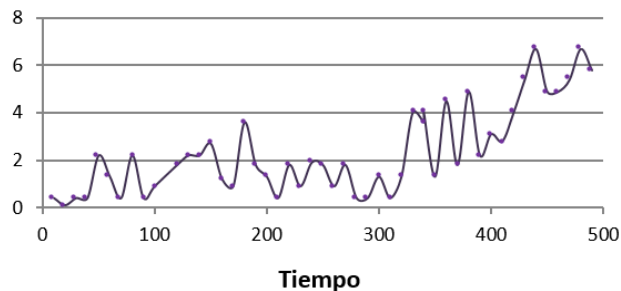


Figura 22 Velocidad del viento (m/s) vs tiempo (minutos)

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En casi todas las pruebas se logró reducir más de la mitad del peso de cada producto, aún cuando existió nubosidad, ya que la cámara de secado continuó con el proceso de secado. En las pruebas realizadas, la velocidad del viento no influyó en el flujo de aire del interior del secador solar, el flujo de aire empleado en el interior fue el que se generó por convección natural.

Se continuarán realizando pruebas a otros productos con la finalidad de hacer eficiente el proceso de secado y más adelante obtener curvas de secado para cada producto.

Se puede colocar un extractor de aire a la salida de la cámara de secado, para acelerar la ganancia de calor latente del producto, así como el colocar carbón vegetal a la entrada del colector para reducir la humedad del aire de entrada. El empleo de la energía solar para deshidratar frutas y verduras, es una opción viable para reducir las emisiones de gases contaminantes provenientes de los procesos empleados para el calentamiento de aire con combustibles fósiles.

Agradecimientos

Se agradece al programa UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101912 y UNAM-DGAPA-PAPIME-PE102015, por los apoyos brindados para la realización de las pruebas experimentales.

Referencias bibliográficas

Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. (3ª ed.). México: International Thompson Editores.

Beer, F., Russell, J. E. & Dewolf, J. T. (2004). *Mecánica de materiales*. (3ª ed.) México: McGraw Hill.

Chang, R. (2002). *Química General*. (7ª ed.). México: McGraw Hill.

Cruz Osnaya, A., Bonifacio Paz, H., Guzmán Tinajero, P., Hernández Gómez, V. H. y Morillón Gálvez, D. (2007). Diseño de un secador solar para uso agrícola en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM. *Memorias de la XXXI Semana Nacional de Energía Solar*. México: Asociación Nacional de Energía Solar.

Duffie, J. A. & Beckman W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*. USA: Wiley Interscience.

González Ortiz, G., Cruz Osnaya, A. y Hernández Gómez, V. H. (2008). Diseño y construcción de un secador solar para el laboratorio de investigación en energías renovables de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. *Memorias de la XXXII Semana Nacional de Energía Solar*. México: Asociación Nacional de Energía Solar.

Hernández Martínez, H., Hernández Gómez, V. H., Cruz Osnaya, A., González Ortiz, G. y Contreras Espinosa, J. J. (2009). Secado de productos mediante energía solar. *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar*. México: Asociación Nacional de Energía Solar. ISBN 978-607-95019-2-2.

Hernández Gómez, V., Cruz Osnaya, A., González Ortiz, G., Contreras Espinosa, J. y Morillón Gálvez, D. (2010) Avance en los proyectos del Laboratorio de Investigación en Energías Renovables. *Memorias del VIII Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico*. México: IIE. ISBN 978-607-95255-2-1.

Hernández Gómez, V., González Ortiz, G., Olvera García, O., Contreras Espinosa J., y Garibay Bermúdez, J. R. (2013). Resultados obtenidos en proyectos sobre energías renovables. *Memorias del X Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico*. México: IIE. ISBN: 978-607-95255-4-5.

Hernández Gómez, V. H., González Ortiz, G., Olvera García, O., Contreras Espinosa J. J. y Garibay Bermúdez, J. R. (2012). Resultados obtenidos al realizar pruebas de secado de frutas empleando un secador solar indirecto. *Memorias de la XXXVI Semana Nacional de Energía Solar*. México: Asociación Nacional de Energía Solar. ISBN: 978-607-95019-5-2.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. (2ª ed.). Madrid: Ediciones del Castillo.

Mills, A. F. (1995). *Transferencia de calor*. EU: McGraw Hill.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. (6ª ed.). México: Pearson Educación.

Tudela, F. (1982). *Ecodiseño. Colección de ensayos*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.