

Análisis del efecto del ángulo de inclinación de un secador solar en el proceso de secado de fresa

Inclination angle effect analysis of a solar dryer in the process of strawberry drying

TERRES-PEÑA, Hilario†*, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

ID 1^{er} Autor: *Hilario, Terres-Peña* / ORC ID: 0000-0001-7996-5734, Researcher ID Thomson: G-6072-2018, CVU CONACYT ID: 98093

ID 1^{er} Coautor: *Arturo, Lizardi-Ramos* / ORC ID: 7801325509

ID 2^{do} Coautor: *Raymundo, López-Callejas* / ORC ID: 0000-0001-9415-3435, CVU CONACYT ID: 213601

ID 3^{er} Coautor: *Mabel, Vaca-Mier* / ORC ID: 0000-0002-1341-7863, Researcher ID Thomson: H-2084-2018, CVU CONACYT ID: 12369

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

Resumen

Se muestran tanto los resultados como el análisis de los efectos que se generan mediante la modificación en la inclinación de un secador solar evaluado bajo condiciones de radiación incidente controladas en laboratorio. El secador solar considerado está elaborado en lámina galvanizada con acabado superficial de pintura mate. A lo largo de la cámara de secado se encuentran cinco charolas con depósitos de fresa. Las pruebas se realizaron utilizando un simulador solar compuesto por un arreglo de cuatro lámparas infrarrojas con emisión de radiación equivalente a 850 W y que permiten realizar una comparativa experimental para los ángulos de inclinación considerados. Las pruebas experimentales fueron para ángulos de inclinación del secador de 5°, 10° y 15°. Se colocaron en las charolas de manera distribuida, rodajas de fresa con un peso total por charola entre 10-15 gramos. Se ponderaron los decrementos de la masa en cada charola en intervalos de 10 minutos para una duración de 6 horas de prueba. Los resultados logrados muestran reducciones de humedad superiores a 80%. Se identifica que la zona de mayor secado ocurre cerca de la entrada del secador y que el resultado más alto ocurre para una inclinación de 10° del secador solar.

Secador, Solar, Inclinación

Abstract

Both results and the analysis of the effects generated by the modification in the inclination of a solar dryer evaluated under incident radiation conditions controlled in the laboratory are shown. The solar dryer considered is made of galvanized sheet with matte paint surface finish. Five trays with strawberry deposits are found along the drying chamber. The tests carried out were carried out using a solar simulator composed of an array of four infrared lamps with radiation emission equivalent to 850 W and which allow an experimental comparison for the considered inclination angles. The experimental tests were for inclination angles of the dryer of 5°, 10° and 15°. Strawberry slices with a total weight per tray of 10-15 grams were placed on the trays in a distributed manner. The decrements of the mass in each tray were weighted in intervals of 10 minutes for a duration of 6 hours of test. The results achieved show humidity reductions greater than 80%. It is identified that the area of greatest drying occurs near the dryer inlet and that the highest result occurs for a 10° inclination of the solar dryer.

Dryer, Solar, Inclination

Citación: TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel. Análisis del efecto del ángulo de inclinación de un secador solar en el proceso de secado de fresa. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018. 2-5: 1-6.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (tph@correo.azc.uam.mx)

1. Introducción

En la actualidad existe una amplia variedad de prototipos de secadores solares, los cuales, al paso del tiempo, se han venido modificando con la finalidad de mejorar el proceso secado de productos de diferentes características. Sin embargo, son pocos los trabajos que exponen de manera explícita las variables que permiten identificar el funcionamiento de los secadores, tal como su geometría, materiales, ubicación y posición de funcionamiento entre otras.

En la diversidad de los trabajos encontrados en la literatura especializada se destacan los siguientes. Los autores Quintana y Olgúin (2017) presentaron un método para el diseño y evaluación de un secador solar en el proceso de secado de madera. Sus resultados se orientaron a la determinación de la eficiencia y tamaño apropiado del secador solar.

En otro trabajo los autores Galaviz et al. (2017) diseñaron, construyeron y patentaron un deshidratador solar, el cual se utiliza en el proceso de deshidratación de frutas, verduras y legumbres con productores de Tlaxcala y Puebla. Lograron uniformizar la temperatura de control para los productos en 48.74 % respecto a un deshidratador convencional.

Los autores Rodríguez et al. (2016), construyeron un prototipo de deshidratador solar para el proceso de deshidratado en alimentos. Su dispositivo emplea tanto la energía solar fototérmica, así como la energía fotovoltaica para actuadores e instrumentación. Sus resultados muestran los tiempos de deshidratado de diferentes alimentos y el estudio de propiedades organolépticas de los mismos.

En un trabajo aplicado al estudio de secadores solares, Terres et al. (2017) mostraron los resultados de la evaluación del proceso de secado de limón mediante el uso de la simulación numérica y los datos de las curvas de secado generadas en un secador solar. Los resultados logrados son importantes para definir parámetros de diseño en secadores solares, por que permiten evaluar el comportamiento de flujo y distribución de temperatura del aire en el interior de los mismos.

Ibarra et al. (2016), mostraron los resultados logrados por un sistema de adquisición adecuado a un deshidratador de alimentos solar. Su objetivo estaba orientado a el diseño del sistema de adquisición de datos en un dispositivo al cual se adaptan sensores, y que se comunican a una computadora. Lograron obtener datos de los factores principales que influyen en el funcionamiento del deshidratador solar.

Reséndiz et al. (2016) diseñaron e implementaron un deshidratador solar aplicado a la disminución de humedad de variedades de chile. Su trabajo es una contribución para el estudio del deshidratado del chile considerando los efectos adversos como perdidas en las producciones de este vegetal y las condiciones negativas de ergonomía hacia los trabajadores que realizan dicha actividad.

Otros trabajos relevantes asociados al diseño, construcción y evaluación de secadores solares han sido presentados por los autores Saleh y Badra (2009), Gbaha et al. (2007), Sarsavadia (2007), Bentayeb et al. (2008), Shanmugam y Natarajan (2006), Afriyie et al. (2011), Maiti et al. (2011) y Romero et al. (2014).

En el presente trabajo se muestran los resultados y evaluación del proceso de secado de fresa cuando su cámara se somete a diferentes ángulos de inclinación respecto del plano horizontal de referencia. Los resultados logrados expresados por el comportamiento de flujo y distribución de temperatura del aire son importantes para definir parámetros de diseño en secadores solares.

2. Implementación experimental en el secador solar

El secador considerado fue fabricado en lámina galvanizada y tiene en su parte superior un arreglo de dos vidrios separados entre sí a través de los cuales pasa la radiación solar hacia su interior. Dentro, se encuentra la zona de secado donde se ubican cinco charolas que contienen la fresa. El secador solar se muestra en la figura 1, indicándose el ángulo de inclinación del secador (a). En la figura 2, se muestra la distribución de las charolas en su interior.

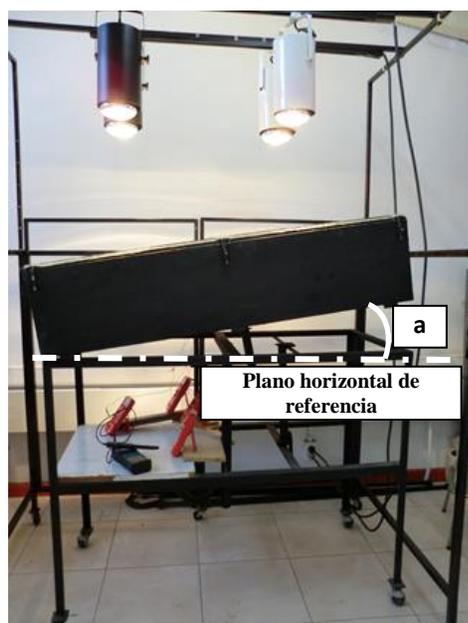


Figura 1 Secador solar
Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 2 Distribución de las charolas en el interior del secador solar
Fuente: *Elaboración Propia*

En la experimentación se consideró la colocación de 5 charolas, distribuidas a lo largo del secador, en las que fueron depositadas rodajas de fresa con un peso total por charola entre 5-10 gramos. El secador solar cuenta con un mecanismo que permite variar el ángulo que forma la cámara de secado respecto a la horizontal. Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de simulación solar de la UAM Azcapotzalco.

El simulador cuenta con un bastidor que permite ajustar la posición de un arreglo de cuatro lámparas infrarrojas cuya emisión de radiación es equivalente a 850 W, y que simulan el comportamiento de la radiación solar, pero bajo condiciones controladas, figura 2.

Los ángulos en los que se posicionó el secador fueron 5° , 10° y 15° ; en cada una de las charolas se colocaron cinco rodajas de fresa, las cuales debían tener un espesor entre 3 y 4 mm, con un diámetro aproximado de 2 cm. En la figura 3 se muestra la distribución de las fresas en la charola.

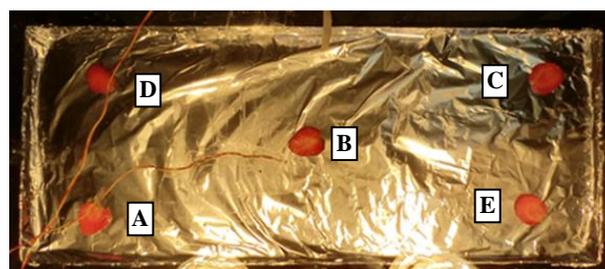


Figura 3 Distribución de la fresa en las charolas
Fuente: *Elaboración Propia*

Durante el desarrollo de las pruebas se registraron los valores de la masa cada 10 minutos para valoración de cada charola. Esto se realizó, utilizando una báscula digital con resolución de 0.01 grs. En las pruebas experimentales que se realizaron se consideró como parámetro de duración 6 horas de prueba en todos los casos.

3. Resultados experimentales y numéricos

Los resultados de la disminución de masa durante las pruebas experimentales se muestran en los gráficos 1, 2 y 3, que corresponde a inclinaciones del secador de 5° , 10° y 15° respectivamente.

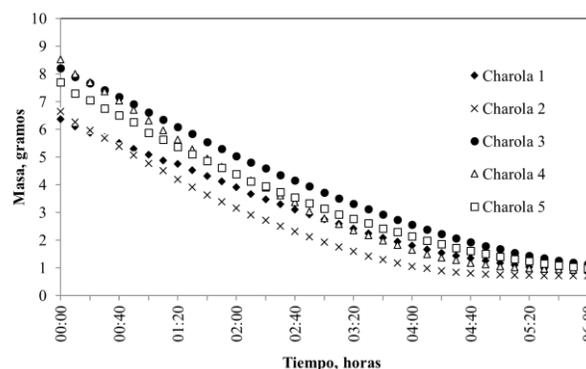


Gráfico 1 Disminución de masa para inclinación de 5°
Fuente: *Elaboración Propia*

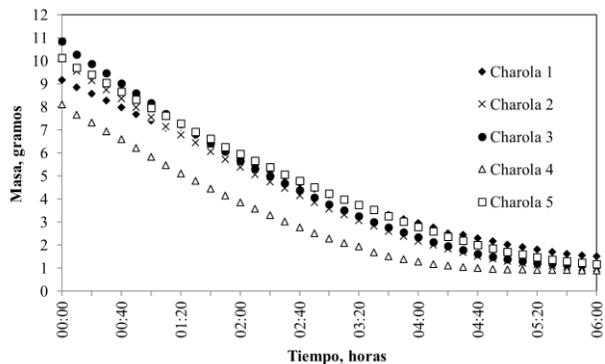


Gráfico 2 Disminución de masa para inclinación de 10°
Fuente: Elaboración Propia

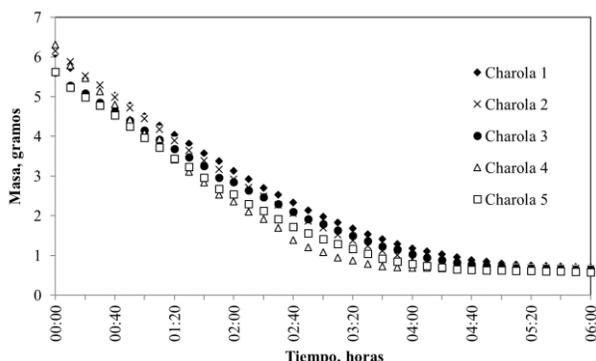


Gráfico 3 Disminución de masa para inclinación de 15°
Fuente: Elaboración Propia

El contenido de humedad en las muestras de fresa puede ser calculado mediante la humedad en base húmeda, utilizando la siguiente expresión (Gbaha et al. (2007)):

$$h_w = \left[1 - \frac{W_d}{W_t} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde, W_d es la masa del producto húmedo, W_t es la masa del producto inicial. Así mismo, el contenido de humedad en base seca se determina por (Gbaha et al. (2007)):

$$h_w = \left[\frac{W_{material\ seco}}{W_{total}} \right] \times 100 \quad (2)$$

Los contenidos de humedad de la fresa por zonas en el interior del secador solar, se muestra en los gráficos 4 a 9.

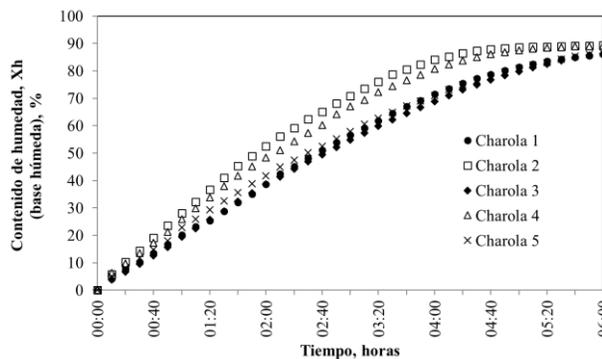


Gráfico 4 Contenido de humedad base húmeda para 5°
Fuente: Elaboración Propia

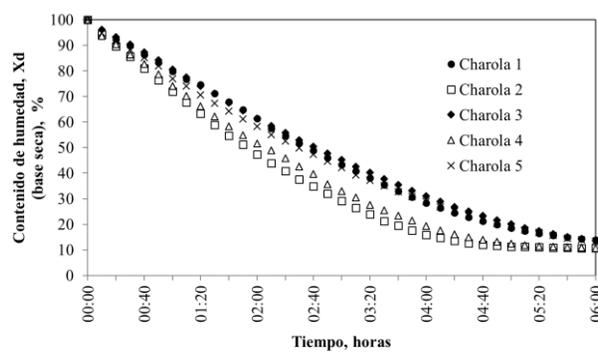


Gráfico 5 Contenido de humedad base seca para 5°
Fuente: Elaboración Propia

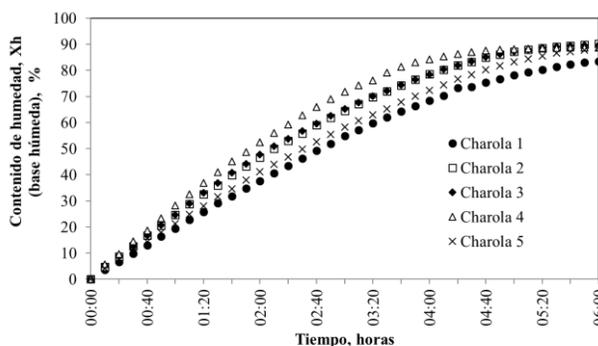


Gráfico 6 Contenido de humedad base húmeda para 10°
Fuente: Elaboración Propia

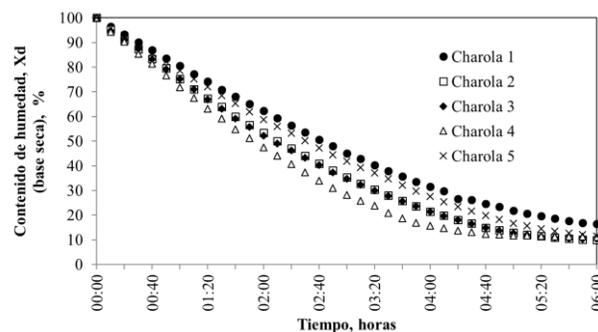


Gráfico 7 Contenido de humedad base seca para 10°
Fuente: Elaboración Propia

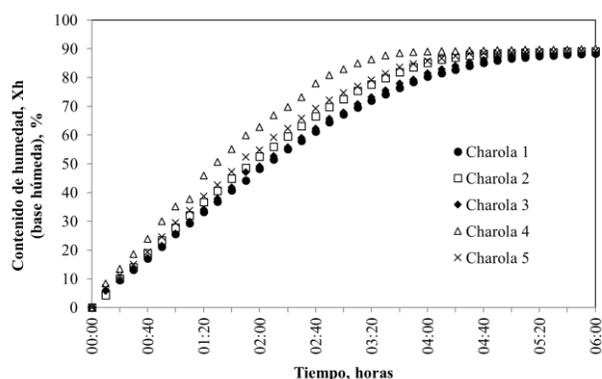


Gráfico 8 Contenido de humedad base húmeda para 15°
Fuente: Elaboración Propia

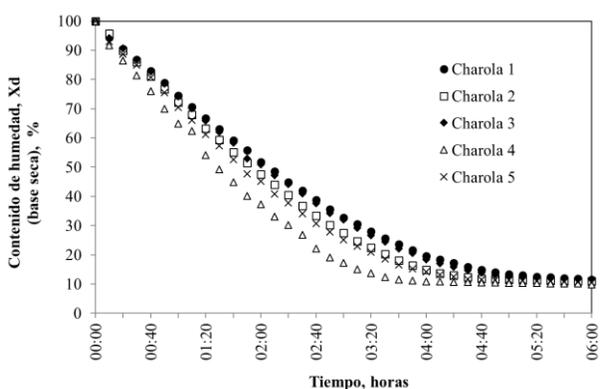


Gráfico 9 Contenido de humedad base seca para 15°
Fuente: Elaboración Propia

4. Discusión

A partir de los resultados mostrados en los gráficos 4 a 9 se establece que para disminuir el tiempo del proceso de secado de fresa en las condiciones de prueba establecidas es necesario que el dispositivo tenga una inclinación de 15°, dado que la condición de secado asintótico se presenta después de 5 horas en las inclinaciones de 5° y 10°.

Específicamente, en el caso de la inclinación de 15°, las charolas que pierden mayor masa son la 4, 5, y 2 (en este orden). Esta situación ocurre debido a la formación de vorticidades en el interior de la cámara, las cuales se originan por efecto de la temperatura del aire fluyendo en el interior y lo largo de la misma. Este fenómeno físico se estudio y fue presentado por los autores Terres et al. (2017). Para los casos de las inclinaciones de 5° y 10°, una vez transcurrido las 6 horas de prueba, no se percibe que los valores obtenidos para la reducción de masa muestren que ésta ya es insignificante, tal cual y como se puede visualizar para el caso de la inclinación de 15° para este mismo tiempo.

Dado que se tiene un mecanismo físico de transferencia de calor por convección natural en un recinto en el interior del secador, la velocidad del aire caliente que fluye en el interior de la cámara se ve sujeto a la fuerza inercial propia de la flotación condicionada por el ángulo de inclinación.

De acuerdo con los resultados, se establece que las inclinaciones de 5° y 10° no permitirían que el aire caliente fluya con las condiciones necesarias para retirar los excedentes de agua de la fresa. En otros trabajos, se han reportado tiempos de 10 a 16 horas para procesar el secado de productos tales como cebolla, jengibre y repollo (Anum et al. 2017) considerando volúmenes de productos ciertamente mucho mayores a los considerados en este trabajo, sin embargo, los parámetros y características del diseño de sus dispositivos no contemplan los efectos que producen tales configuraciones.

Los resultados logrados en este trabajo posibilitan la viabilidad de realizar un escalamiento en cantidades de producto a secar, lo que válidamente propiciaría la evaluación del secado con los resultados presentados como mejoras para los diseños ya existentes y reportados en la literatura especializada.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó la evaluación del proceso de secado de fresa considerando su reducción de masa en el interior de la cámara de secado.

Los resultados logrados permiten establecer la forma en que ocurre el proceso de secado cuando se asocian los valores logrados con la inclinación que presenta la cámara del secador respecto a la horizontal.

Los resultados logrados permiten ser utilizados para establecer las variantes que se contemplarán para futuros trabajos donde se considera la variación del ángulo de inclinación del secador y la ubicación de las charolas.

Referencias

Afriyie, J.K., Rajakaruna H., Nazha M.A.A., Forson F.K., (2011). Simulation and optimization of the ventilation in a chimneydependent solar crop dryer, Solar Energy Vol. 85, No. 7, 1560-1573.

TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel. Análisis del efecto del ángulo de inclinación de un secador solar en el proceso de secado de fresa. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2018.

Bentayeb, F., Bekkioui, N., Zeghmati, B., (2008). Modelling and simulation of a wood solar dryer in a Moroccan climate, *Renewable Energy*, Vol. 33, No. 3, 501-506.

Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer, *Renewable Energy*, Vol. 31, No. 8, 1239-1251.

Galaviz, R., J., Cervantes, H., B., Martínez, C., R., Cortés, A., O., (2017). Deshidratador solar de cama plana con materiales refractarios, *Revista de Energías Renovables, ECORFAN*, Vol. 1 No. 1, 32-39.

Gbaha, P., Andoh, H., Saraka, K., Koua, K., Toure, S., (2007). Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow, *Renewable Energy*, Vol. 32, No. 11, 1817-1829.
Ibarra, E., Castañeda, P., Alvarado, 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, ECORFAN*, Vol. 3 No. 6, 41-50.

Maiti, S., Patel P., Vyas K., Eswaran K., Ghosh P., (2011). Performance evaluation of a small scale indirect solar dryer with static reflectors during non-summer months in the Saurashtra region of western India, *Solar Energy* 85, No. 11, 2686-2696.

Quintanar, J., (2017). Metodología para el diseño y evaluación de un secador solar tipo invernadero utilizado en el secado de madera, *Revista de Aplicación Científica y Técnica, ECORFAN*, Vol. 3 No. 9, 18-23.

Reséndiz, R., (2016). Implementación de un deshidratador solar para la eficiente producción de chile, *Revista de Sistemas Experimentales, ECORFAN*, Vol.3 No.9, 62-72.

Rodríguez, M., López, M., Cano, J., Ambriz, F., (2016). Desarrollo de un prototipo de deshidratador solar instrumentado sustentable, *Revista de Prototipos Tecnológicos, ECORFAN*, Vol. 2, No.4, 22-29.

Rodríguez, M., López, M., Cano, J., Ambriz, F., (2016). Desarrollo de un prototipo de deshidratador solar instrumentado sustentable, *Revista de Prototipos Tecnológicos, ECORFAN*, Vol. 2, No.4, 22-29.

Romero V., Cerezo E., Garcia M.I., Sanchez M., (2014). Simulation and validation of vanilla drying process in an indirect solar dryer

Saleh, A., Badran, I., (2009). Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer, *Renewable Energy*, Vol. 34, 2239-2245.

Sarsavadia, P., (2007). Development of a solar-assisted dryer and evaluation of energy requirement for the drying of onion, *Renewable Energy*, Vol. 32, No. 15, 2529-2547.

Shanmugam, V., Natarajan, E., (2006).

Terres, P., H, Lizardi, R., López, C., R., Vaca, M., M., (2017). Evaluación de un secador solar durante el proceso del secado de limón por simulación numérica y sus curvas de secado, *Revista de Prototipos Tecnológicos, ECORFAN*, Vol. 3, No.9, 34-41.