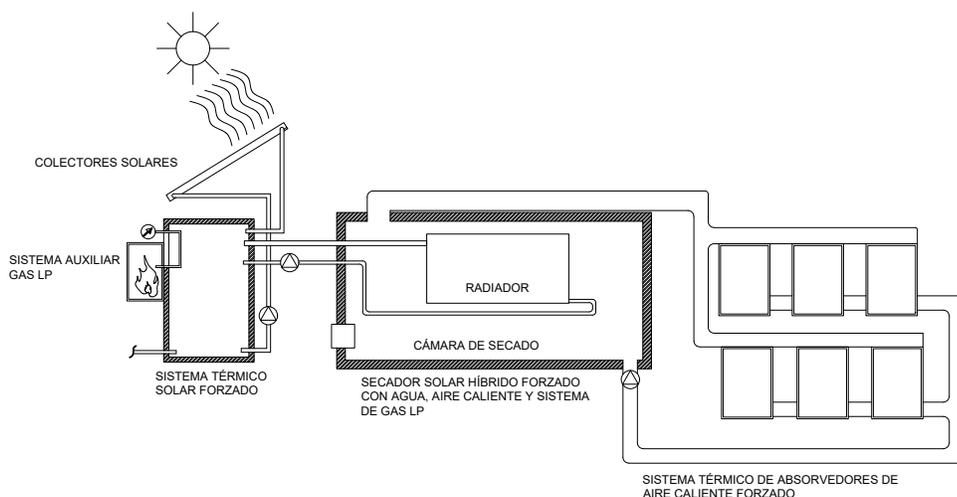




a tecnología térmica solar aplicada al proceso de secado de cacao

Javier Mauricio Obando-Ulloa*
Tomás de Jesús Guzmán-Hernández *



Fuente: Guzmán-Hernández y Obando-Ulloa, 2019.

Figura 1. Diagrama de recorrido del sistema de secado forzado híbrido.

Palabras clave:

Cacao, colectores solares, energía solar, humedad, secado, sistemas térmicos solares.

Resumen

Desde la antigüedad, una de las técnicas utilizadas por el ser humano para conservar los alimentos es el secado al sol, un proceso laboriosamente arduo que requiere grandes áreas para exponer el producto y periodos prolongados para completar la operación, a lo que también se suma el riesgo de presentar contaminación por insectos, roedores, aves, falta o sobresecado de los productos, pérdida de color, sabor, olor, etc., lo cual precisa buscar alternativas económicas que permitan un secado más eficiente, controlado e higiénico. Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo consiste en mostrar los resultados del proyecto “Aplicación de tecnologías térmicas solares para el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Huetar Norte de Costa Rica”, mediante el cual se diseñó un sistema térmico solar híbrido para la Asociación de Productores Agroambientalistas de Cacao (ASOPAC) en Katira, Guatuso, de cuya evaluación se ha demostrado la eficiencia tanto en el proceso de secado de cacao, como en las mejoras del diseño para la instalación de otros sistemas similares en la Región Huetar Norte. Además, ha permitido capacitar y mejorar los sistemas productivos, la calidad sensorial y microbiológica, aspectos que generarían un valor agregado que les permita

a los productores ser más competitivos y recibir un mejor incentivo económico por su trabajo.

Introducción

Uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad es el desbalance entre la producción de alimentos y el consumo (Murthy, 2009), problema que se acrecienta en la mayoría de los países en vías de desarrollo por la inhabilidad de conservación de alimentos. Esto conlleva un desequilibrio en la seguridad alimentaria (VijayaVenkataRaman et al., 2012; Jairaj et al., 2009), situación que los especialistas en conservación de alimentos tratan de solucionar a través de un conjunto de procedimientos.

Desde hace más de diez mil años, el ser humano ha utilizado diferentes métodos para solucionar dicho problema, los cuales han sido mejorados con el pasar del tiempo. En los últimos años, la parte industrial ha implementado técnicas antiguas (salazón, curado, ahumado, etc.) que han dado origen a otras (pasteurización, refrigeración, liofilización y ultracongelación), cambio por el que, en la actualidad, el objetivo de la conservación de alimentos ya no es solamente mantener el producto con un buen aspecto y apto para consumir durante mucho tiempo, sino conservar lo máximo posible su sabor original y calidad nutricional (Clayton, Bush y Cleener, 2014.).

Una forma de reducir el desequilibrio es por medio de diferentes técnicas de

conservación, entre las que destaca el secado, el cual consiste en reducir el contenido de agua de un producto -normalmente oscila entre un 60 y un 80%, hasta llegar a niveles seguros para almacenar e imposibilitar la proliferación de los microorganismos y las reacciones químicas y enzimáticas relacionadas con el deterioro de los productos agrícolas (Pirasteh et al., 2014; Rocha, y otros, 2012; Jairaj et al., 2009).

Métodos de secado

Secado al sol o método tradicional

El proceso de secado de los productos agrícolas puede ejecutarse de diversas formas, entre las que sobresale el secado al sol, una técnica sencilla y barata dada la disponibilidad de la radiación electromagnética del sol, cuyo uso, además, es significativo en cuanto a que representa una alternativa que mitiga la emisión de los gases de efecto invernadero que contribuye a prevenir el calentamiento global al reemplazar el uso de combustibles fósiles; por tanto, las energías renovables son una alternativa de energía más limpia. En consecuencia, entre las diversas opciones de energía renovable, el uso de la energía térmica solar es la más viable, además de que está disponible en forma directa e indirecta. En este tipo de secado, la radiación electromagnética del sol se usa para evaporar el agua presente en el producto. Debido a que la radiación solar es intermitente y variable, el producto puede secarse en exceso o presentar un pequeño contenido de humedad, por lo que la energía necesaria para

que ocurra esta migración del agua depende del producto en particular. La influencia de la temperatura es crítica para este proceso, por lo que existe una temperatura máxima disponible para cada producto, la cual por lo general es entre 15 y 20°C más alta que la temperatura ambiente (Murthy, 2009).

A pesar de sus beneficios, este tipo de secado no puede ser usado en algunos productos agrícolas, ya que decolora el producto, disminuye la calidad nutricional y funcional de los productos y ocasiona la pérdida del sabor y el aroma (Murthy, 2009); a ello se suma que los productos obtenidos sometidos a este tipo de secado pueden contaminarse por polvos externos, insectos, roedores y pájaros, y presentar falta de secado o secado en exceso. Aunado a lo anterior, dicha técnica se constituye en un proceso muy lento y laboriosamente intensivo, por lo que requiere grandes áreas para su desarrollo (VijayaVenkataRaman et al., 2012; Jairaj et al., 2009; Murthy, 2009).

Sistemas térmicos solares o secado solar

Considerando las situaciones anteriores, productores en muchos países se han visto forzados a buscar otros métodos alternativos de secado económicamente efectivos e higiénicos, tales como los sistemas térmicos solares que son la opción más viable para la mayoría de los países en vías de desarrollo, ya que su costo de inversión inicial es bajo. De igual forma, representan una opción absolutamente higiénica para la conservación de los productos agrícolas que permite reducir las pérdidas de las cosechas,

mejorar significativamente la calidad de los productos finales en comparación con los métodos tradicionales, disminuyen más eficientemente los tiempos del proceso, ocupan menos espacio y protegen el ambiente (VijayaVenkataRaman et al., 2012; Jairaj et al., 2009).

Entre otras de sus ventajas, dado que en los sistemas solares térmicos se calientan grandes volúmenes de aire por medio del sol para hacerlo pasar sobre los productos, disminuye la mayoría de los problemas que enfrentan los productores con el secado al sol de manera directa, por tanto, mejora la calidad de los productos finales (Murthy, 2009).

En cuanto a su estructura, tales sistemas están formados por una cámara de secado en la que se colocan anaqueles o mallas sobre las que se extiende el producto y a través de las que se circula aire caliente que pasa a través de estas, mientras que la humedad presente en el producto sale a la atmósfera por diferencia de temperatura (Murthy, 2009).

Respecto de sus ventajas, y dado que el consumo de energía es una de las consideraciones más importantes en los sistemas de secado (Pirasteh et al., 2014), se encuentra que en este sistema el aire caliente puede ser recirculado para ahorrar energía (Murthy, 2009), además de que al introducir ciertas características técnicas adicionales como sistemas de control para monitorear la temperatura del aire de secado y la humedad dentro de la cámara de secado, es posible incrementar la calidad de los productos para alcanzar los estándares de los mercados internacionales (Jairaj et al., 2009).

Nuevamente, y aun con los beneficios para el productor, si se usa como única fuente para el secado hay que considerar que la radiación electromagnética no siempre estará disponible en la magnitud que se necesita; no obstante, tal situación puede solventarse con secadores solares híbridos, en los que la energía solar se combina con otras fuentes energéticas convencionales (combustibles fósiles, biomasa o electricidad; Pirasteh et al., 2014).

En general, los productores capaces de realizar inversiones moderadas pueden escoger los secadores solares de acuerdo con sus requerimientos individuales. Sin embargo, para motivar a los pequeños y medianos productores a usar sistemas térmicos, es necesario desarrollar un secador solar convencional sencillo, efectivo, económico y multipropósito, capaz de secar una variedad de productos agrícolas a gran escala (Jairaj et al., 2009).

Aplicación de la tecnología térmica solar en el secado de cacao

Mediante las capacitaciones que el Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) ha impartido a estudiantes, productores y cooperativas del sector agropecuario de la Región Huetar Norte, por medio del proyecto “Implementación y validación de tecnologías solares en sistemas de producción y procesamiento de leche para esterilizar, pasteurizar y ahorrar energía en la zona Huetar Norte de Costa Rica”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión



Fuente: Guzmán-Hernández y Obando-Ulloa, 2019.

Figura 2. Prototipo de sistema térmico solar híbrido forzado desarrollado por el *Grupo de investigación en sistemas térmicos solares para la agricultura*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Local San Carlos.



Fuente: Los autores.

Figura 3. Sistema térmico solar híbrido forzado instalado en la Fábrica de Chocolates SIBAELI en Katira, Guatuso. (A) Sistema de colectores para el calentamiento de aire. (B) Vista aérea del sistema desde la que se puede observar, tanto los colectores para el calentamiento de agua como los colectores para calentamiento de aire.



Fuente: Los autores.

Figura 4. Sistema térmico solar híbrido forzado instalado en el Campus Tecnológico Local San Carlos, TEC.

(VIE) y por el Programa Universitario de Regionalización (PUR), se planteó la necesidad de aplicar la tecnología térmica solar en otras actividades agropecuarias como el secado de cacao.

Por esta razón, el Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Campus Tecnológico Local San Carlos, adscrito al DOCINADE, con el apoyo de la VIE y el PUR del TEC, el Ministerio de Agricultura (MAG) y la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y la Transferencia de Tecnologías Agropecuarias de Costa Rica (FITACORI), planteó varios proyectos para el diseño, construcción y evaluación de sistemas térmicos solares híbridos para el proceso de secado de cacao en la Región Huetar Norte.

Estos proyectos permitieron el desarrollo de un prototipo conocido como *secador solar*

híbrido forzado, dado que la circulación del aire caliente por el sistema es realizada a través de una bomba que ingresa el aire al colector solar para generar la temperatura necesaria y asegurar un secado uniforme (Figura 1).

El prototipo consta de un colector solar que capta la energía solar y la transfiere al aire (T_0) que circula de manera forzada a través de sus tuberías, proceso mediante el cual el aire alcanza una mayor temperatura (T_i), la cual es conducida hasta la cámara de secado en donde el aire es distribuido a lo largo y ancho del secador para así obtener uniformidad en el proceso de secado de los productos agrícolas.

Por otra parte, dispone de un colector solar para aprovechar la radiación del día para calentar el agua que se almacena en los tanques, la cual circulará a través de un sistema auxiliar, formado por un serpentín de cobre para transferirle el calor al aire que se encuentra dentro de la cámara de secado, el cual se activa cuando la temperatura dentro de la cámara es menor a la requerida para el secado de los productos. Si la temperatura del agua almacenada en los tanques es menor a la requerida para la transferencia de temperatura, se activa un segundo sistema auxiliar a gas LP que mantiene la cámara a la temperatura requerida, de acuerdo con el sistema de control de temperatura (Figura 2). Por medio de la evaluación de este prototipo, se alcanzaron contenidos de humedad de 12% en piña, 11% en café y frijoles, 7% en cacao y jengibre, 12% en cúrcuma y 8% en ayote, los cuales se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normas

internacionales (INCAP, 2012), con un tiempo de proceso de entre 40 y 48 horas. Con base en los estudios de este prototipo, se diseñó una nueva instalación en la Fábrica de Chocolates SIBAELI, afiliada a la Asociación de Productores Agroambientalistas de Cacao (ASOPAC) en Katira, Guatuso, en la que amplió el número de colectores solares para el calentamiento de aire -pasó de uno a seis colectores- y se incrementó el número de colectores solares para el sistema forzado de agua caliente, el cual pasó de uno a tres colectores (Figura 3).

La evaluación de la operación de este sistema en SIBAELI permitió comprobar la efectividad del sistema para reducir el tiempo de proceso de secado del cacao dado que, con el sistema tradicional, los productores tardan aproximadamente 15 días para completar el proceso, mientras que con el sistema térmico solar híbrido forzado, se redujo a tan solo cinco días; así se mejora no solo la eficiencia, sino la calidad sensorial y microbiológica del producto final. De igual forma, esta evaluación permitió al grupo de investigación mejorar el diseño para la operación eficiente del sistema.

De esta forma, en el Campus Tecnológico Local San Carlos se instaló un sistema completamente automatizado para el secado de diferentes productos agrícolas que está al servicio de los estudiantes y de los productores de la zona (Figura 4).

Otra de las mejoras ha sido la implementación de un sistema de piso radiante que propicia un mejor aprovechamiento de la energía térmica solar, de tal forma que exista otra entrada del calor al sistema: tal mejora se



Fuente: Los autores.

Figura 5. Colocación del piso radiante (A) en el sistema térmico solar híbrido forzado (B) instalado en la Fábrica Artesanal Chocolates Fusión.

incluyó en el sistema térmico solar instalado en la Fábrica Artesanal Chocolates Fusión, ubicada en El Tanque de La Fortuna, la cual contó con el apoyo económico de la Fundación CRUSA (Figura 5).

Tras implementar estos sistemas que beneficiaron a los productores de la Región Huetar Norte de Costa Rica, el grupo de investigación, y en especial el TEC, fue

galardonado con el Global Energy National Award 2019 (Figura 6).^{II}

Conclusión

Para incrementar el uso de la tecnología térmica solar se debe proporcionar buena información técnica y experiencia práctica a los productores agrícolas, para que se logre una correcta efectividad económica (VijayaVenkataRaman et al., 2012). En el caso del cacao, es preciso señalar que la fermentación es una etapa muy importante en el procesamiento del grano, puesto que se producen cambios bioquímicos que dan origen a los precursores del aroma y sabor, lo que determina su calidad física y química.

Referencias bibliográficas

Clayton, K.; Bush, D.; Keener, K. (2012). Métodos para la conservación. Purdue Extension FS-15-S-W. Disponible en www.extension.purdue.edu/extmedia/FS/FS-15-S-W.pdf

Guzmán-Hernández, T.J. y Obando-Ulloa, J.M. (2019). Uso de tecnología solar en actividades agropecuarias de la Región Huetar Norte de Costa Rica. II parte. Unidad de Publicaciones: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. pp. 174. ISBN: 978-9930-541-59-3.

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). 2012. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2a edición. 128 pp.

Jairaj, K.S., Singh, S.P. y Srikant, K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy*, 83: 1698-1712.

Murthy, M. V. R. (2009). A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 835-844.

Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A. y Rahim, N. A. (2014). A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 133-148.

Rocha, R. P., Melo, E. d., Corbín, J. B., Berbert, P. A., Donzeles, S. M., & Tabar, J. A. (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*.

VijayaVenkataRaman, S., Iniyan, S. y Goic, R. (2012). A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2652-2670.



Fuente: Los autores.

Figura 6. Miembros del Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura, a con el representante de la Fundación Energy Globe tras el recibimiento del Energy Globe National Award 2019.

*Los autores son profesores e investigadores del Área Académica del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Campus Tecnológico Local San Carlos. Tel. 2401-3284; e-mail: tjguzman@tec.ac.cr