

**Dr. Tomás de Jesús Guzmán Hernández**, Área académica del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, tjguzman@itcr.ac.cr

**Dr. Javier Mauricio Obando-Ulloa**, Área académica del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, jaobando@itcr.ac.cr

**Lic. Guillermo Castro-Badilla**, Escuela de Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, gucastro@itcr.ac.cr

**Deyver Antonio Rodríguez Rojas**, Estudiante de la Escuela de Producción Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, deyver.rodriguez.cr@gmail.com

**Lic. Natalia Arce Hernández**, Estudiante del Programa de Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica, nataliahe@gmail.com

**MAE. Ing. Juan Manuel Ortega Castillo**, Área académica del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, ocjmcr@gmail.com

**Dr. Freddy Araya Rodríguez**, Área académica del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, faraya@itcr.ac.cr

## Introducción

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta actualmente la humanidad es el balance entre la producción de alimentos y el consumo (Murthy, 2009). Este problema se acrecienta en la mayoría de los países en vías de desarrollo, debido a la inhabilidad de conservación de alimentos y no a la baja producción, lo que conlleva a un desequilibrio en la seguridad alimentaria (VijayaVenkataRaman *et al.*, 2012; Jairaj *et al.*, 2009).

Para solucionar este problema se ha propuesto incrementar el abastecimiento de alimentos. No obstante, para alcanzar esta propuesta se requiere de una considerable inversión de capital económico y tiempo. Otra solución más viable al problema del desabastecimiento incluye la reducción de las pérdidas de alimentos en países en desarrollo, las cuales representan un problema para los pequeños productores agrícolas (VijayaVenkataRaman *et al.*, 2012; Jairaj *et al.*, 2009; Murthy, 2009). La información sobre estas pérdidas es limitada, y aunque se ha registrado pérdidas de aproximadamente 21%, se cree que éstas son mayores y oscilan entre 40 y 50% (Jairaj *et al.*, 2009; Murthy, 2009).

Una forma de reducir la pérdida de alimentos es por medio de diferentes técnicas de conservación, entre las que destaca el secado y la deshidratación. El secado es una de las técnicas más usadas para reducir el contenido de humedad, lo que hace que los microorganismos responsables del deterioro de los productos agrícolas no puedan proliferar. Además, esta técnica reduce las velocidades de las reacciones químicas y enzimáticas relacionadas con el deterioro de estos productos (Pirasteh *et al.*, 2014; Jairaj *et al.*, 2009). El secado al sol es la técnica más sencilla y barata dada la disponibilidad de la radiación electromagnética del sol. Sin duda, esta energía juega un papel significativo en la mitigación de la emisión de los gases de efecto invernadero que contribuye a prevenir el calentamiento global al reemplazar el uso de combustibles fósiles, por lo que las energías renovables son una alternativa de energía más limpia. Obviamente, entre las diversas opciones de energía renovable, el uso de la energía térmica solar es la más viable y está disponible en forma directa e indirecta.

Las consideraciones ambientales y los daños causados por los gases de efecto invernadero debido al consumo de hidrocarburos obligan a los gobiernos, la industria y la agricultura a usar



# APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SOLARES TÉRMICAS HÍBRIDAS, PARA LA DESHIDRATA- CIÓN Y SECADO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LA REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA

energías renovables como un recurso limpio y sostenible, como es el uso de la energía solar en diferentes entornos, entre ellos el secado (Pirasteh *et al.*, 2014).

El sol emite energía a razón de  $3,8 \times 10^{23}$  kW, de los cuales aproximadamente  $1,8 \times 10^{14}$  kW se reciben en la Tierra. Una gran cantidad de energía solar está disponible para aplicaciones térmicas como cocción, calentamiento de agua, secado y deshidratación de cultivos, entre otros. En la tecnología de secado solar de productos agrícolas, el proceso es limpio e higiénico, mejora la calidad del producto y la eficiencia del proceso y, lo más importante, protege el medio ambiente (Pirasteh *et al.*, 2014).

Debido a esto se ha desarrollado y adoptado diferentes métodos para secar los productos agrícolas para prolongar su vida útil. Entre los métodos desarrollados se puede mencionar el secado a sol abierto con y sin cobertura, y el secado en bandejas, también conocido como secado a la sombra (Murthy, 2009).

#### El secado natural al sol de manera directa

En este tipo de secado la radiación electromagnética del sol se usa para evaporar la humedad 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 es por lo general 15- 20 °C más alta que la temperatura ambiente (Murthy, 2009).

Sin embargo, este proceso presenta varias desventajas, entre las que se incluye la contaminación por polvos externos, insectos, roedores, pájaros, falta de secado o secado en exceso de los productos, pérdida de color, sabor, olor, entre otros. Además, este proceso es laboriosamente intensivo,

por lo que requiere grandes áreas y es un proceso muy lento (VijayaVenkataRaman *et al.*, 2012; Jairaj *et al.*, 2009; Murthy, 2009).

En algunos casos, este tipo de secado no puede ser usado, 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).

Las desventajas del secado al sol han forzado a los productores en muchos países a buscar métodos de secado alternativos que representen una ventaja económicamente efectiva e higiénica de preservar frutas y semillas. En este sentido, el secador solar sigue siendo económicamente efectivo. Sin costos para ponerlo en marcha, crea una situación absolutamente higiénica para la conservación de las frutas, por lo que su introducción puede reducir las pérdidas de las cosechas y mejorar significativamente la calidad de los productos en comparación con los métodos indirectos tradicionales de secado solar. Además, este tipo de secado representa una alternativa al uso de combustibles fósiles para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (Pirasteh *et al.*, 2014; VijayaVenkataRaman *et al.*, 2012; Jairaj *et al.*, 2009).

Si se considera la rápida disminución de las fuentes de combustibles naturales y el alza de los precios de los combustibles fósiles, el secado solar tecnificado se convierte en una herramienta indispensable en el futuro para pequeños, medianos y grandes productores.

#### El secado solar térmico

En el secado solar térmico se calientan grandes volúmenes de aire por medio del sol para hacerlo pasar sobre los productos para remover y eliminar la humedad. Aquellos equipos que usan la energía solar para calentar el aire o el agua para secar los productos agropecuarios son conocidos como secadores solares. Un secador solar minimiza casi todos los problemas que enfrentan los

productores con el secado natural al sol de manera directa y, por tanto, mejora la calidad de los productos finales (Murthy, 2009).

En un secador solar **térmico**, la cámara consiste en un espacio en donde se colocan anaqueles o mallas sobre las que se extiende el producto y a través del cual se hace circular aire caliente que pasa a través de éstas y la humedad del producto sale a la atmósfera, por diferencia de temperatura (Murthy, 2009). Dado que el consumo de energía es una de las consideraciones más importantes en los sistemas de secado (Pirasteh *et al.*, 2014), el aire caliente puede ser recirculado para ahorrar energía (Murthy, 2009).

Además, 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).

Una desventaja del secado solar térmico, si se usa como **única fuente** para el secado, es que la radiación electromagnética no siempre está disponible en la magnitud que se necesita. Una opción para resolver esta situación son los secadores solares híbridos, en donde la energía solar se combina con otras fuentes energéticas convencionales o no (tales como los combustibles fósiles, biomasa o electricidad) como una fuente alterna a la energía solar para abordar esta desventaja (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 secadores solares **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).

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, el Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura, de la Sede Regional San Carlos, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), adscrito al programa de “Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo” (DOCINADE), con el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y, el Programa de Regionalización Universitaria (PUR) del ITCR, 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 (FITTACORI), se han planteado varios proyectos que han logrado el financiamiento necesario y básico para diseñar, construir y evaluar sistemas de secado solar térmico híbrido en la Región Huertar Norte (RHN).

El grupo de investigación se enfocó en revisar la información disponible al respecto, así como el estado del arte del proceso de transformación sin afectar la calidad y las propiedades sensoriales del producto, para así para mejorar la eficiencia del proceso de secado y reducir la huella de carbono.

### Metodología

La idea del diseño de un secador solar híbrido para productos agrícolas de la RHN nació a raíz de una capacitación sobre el uso de la energía solar en explotaciones agrícolas a un grupo de productores de cacao de la zona de Guatuso, específicamente en el poblado de Katira, todos ellos afiliados a la Asociación de Productores Agroambientalistas de Cacao (ASOPAC).

Dado el interés de estos productores, se propuso el proyecto al Programa Universitario de Regionalización del ITCR y a FITTACORI. Ambas instituciones aprobaron el proyecto “Aplicación de tecnologías térmicas solares para el secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Huertar Norte de Costa Rica”.

Para implementar los sistemas de secado solar en la RHN fue necesario conocer las condiciones de trabajo de los productores de la zona para adaptar cada uno de estos sistemas a sus necesidades. Por lo tanto, se inició con el estudio de las posibles necesidades que estos tenían en su cadena de producción de cacao para lograr una mayor eficiencia y calidad en los productos que generan.

Costa Rica se encuentra en la región del Neotrópico, por lo que presenta un clima tropical que se caracteriza por una intensa actividad lluviosa durante todo el año. Si nos ubicamos geográficamente en la Región Huertar Norte, esta presenta un clima tropical seco y húmedo que genera precipitaciones entre 2000 y 5000 mm/año, lo cual dificulta el desarrollo óptimo de los procesos de transformación de los productos agrícolas debido a los altos porcentajes de humedad. De manera que se tiene que disponer de secadores pasivos y activos, que sean capaces de mitigar esos efectos climáticos en el proceso de secado y deshidratación.

### Propuesta de los secadores pasivos y activos

#### Secador pasivo

El secador pasivo consta de un colector solar por el que ingresa el aire a temperatura ambiente ( $T_0$ ), la cual se incrementa conforme asciende sobre el sistema ( $T_i$ ) e ingresa a la cámara de secado para pasar en medio de las bandejas con producto hasta salir por la parte superior del secador (Figura 1).

Con la modalidad de secado pasivo es importante mencionar las siguientes ventajas con respecto al secado al aire libre:

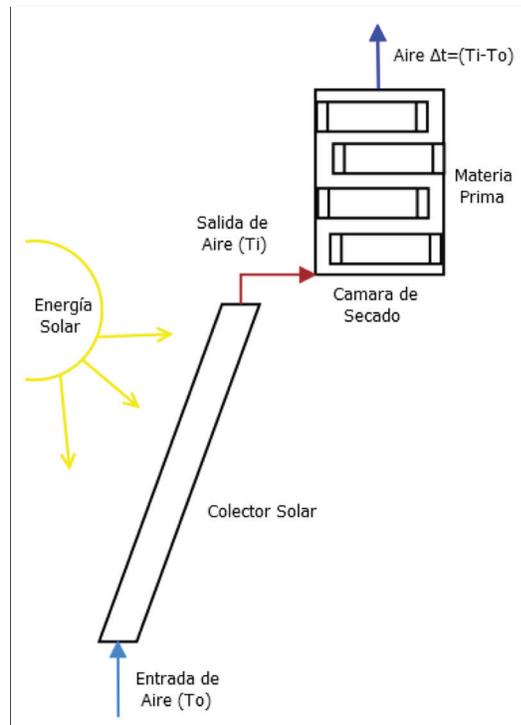


Figura 1. Diagrama de recorrido del aire por el sistema del secador pasivo.

- 1- Mayor concentración de energía, que a su vez genera un secado más rápido, dado que el diferencial de temperaturas [ $\Delta T = (T_i - T_0)$ ] hace que el aire se caliente y tenga un contacto directo con el producto que se desea secar.
- 2- Mayor inocuidad de los productos, dado que se eliminaría por completo la contaminación por polvo, insectos, roedores, aves, así como los altos porcentajes de humedad a los que está expuesta la materia prima al aire libre.
- 3- Mayor facilidad de transporte, puesto que el secador de uso pasivo también tiene la característica de ser portátil, por lo que se puede trasladar de un lugar a otro sin la necesidad de estar trasegando grandes cantidades de materia prima que se desea secar y procesar.
- 4- Fácil uso y manejo, ya que no tiene grandes tecnologías en donde se requiera de técnicos para su uso. El secador está dotado de instrumentos de

uso convencional para el control de temperaturas que requieren de un conocimiento básico para sus lecturas.

- 5- El mantenimiento del secador es muy sencillo dado que está confeccionado de materiales resistentes al óxido y se puede someter a lavados sin ningún tipo de cuidado, lo cual genera mayor confianza al productor para mantener el secador en las condiciones más adecuadas para el manejo de productos alimenticios y para mantener la calidad requerida para el consumo.

### Secador activo, solar híbrido forzado

El secador forzado consta de varios módulos que, al unirlos, logran un óptimo secado de los productos agrícolas que se desea procesar (Figura 2). El secado solar forzado consta también de un sistema auxiliar que utiliza gas licuado (LP), el cual ayuda a mantener la temperatura óptima dentro de la cámara cuando la energía del sol no es suficiente. A su vez, cuenta con otro sistema solar térmico forzado de agua caliente para ser usado durante la noche.

Este prototipo es conocido como secador solar híbrido forzado dado que durante el día utiliza la energía solar. Cuando esta energía no es suficiente, el sistema de calentamiento por gas entra en funcionamiento para generar la temperatura necesaria y asegurar un secado uniforme a través de un sistema de control térmico o termostato.

El prototipo consta de una serie de colectores solares para aire caliente, los cuales captan la energía solar y la transfieren al aire ( $T_0$ ) que circula de manera forzada por las tuberías del mismo. Al realizar esta transferencia de energía, el aire alcanza una mayor temperatura ( $T_1$ ), 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.

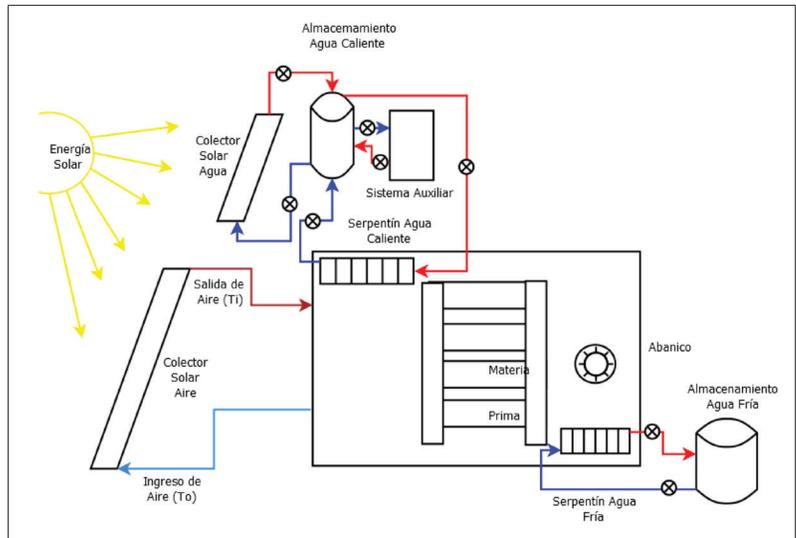


Figura 2. Diagrama de recorrido del sistema de secado forzado híbrido

Una vez ingresado el aire a la cámara de secado, unos abanicos se encargan de hacer circular el aire de manera uniforme dentro de la misma y, conforme se capta la humedad de la materia prima, ésta se condensa y se expulsa fuera de la cámara por un sistema de tuberías. El proceso de circulación del aire es realizado a través de una bomba que hace ingresar el aire al colector solar para lograr durante el día un proceso continuo.

Este secador solar dispone de un sistema térmico auxiliar que consiste en aprovechar la radiación del día por medio de un colector solar para calentar el agua de los tanques de almacenamiento, la cual entra en funcionamiento en aquellos casos en que la temperatura dentro de la cámara sea menor a la requerida para el secado de los productos. Este sistema térmico solar forzado híbrido está formado por un serpentín por donde circula agua caliente que transfiere el calor al aire que se encuentra dentro de la cámara de secado. Si la temperatura del agua almacenada en los tanques es menor a la requerida para la transferencia de temperatura, entonces entra en funcionamiento el sistema auxiliar a gas LP que mantendrá la cámara a la temperatura requerida.

El secador solar está equipado con un sistema de control de datos que registra la temperatura de diferentes

zonas del secador para un óptimo funcionamiento del mismo.

Este tipo de secado muestra las siguientes ventajas:

- 1- El secado de la materia prima se realizará en menor tiempo, dado que se tiene un colector solar que capta la energía requerida. Si esta temperatura no es suficiente, se cuenta con dos sistemas adicionales que pueden generar el calor necesario para el óptimo funcionamiento.
- 2- El secado de los productos agrícolas se puede realizar en jornadas continuas de 24 horas, ya que se cuenta con sistemas que permiten procesar la materia prima tanto de día (aprovechando la energía del sol) como de noche (con los depósitos de agua calentada por medio de energía solar) y, por último, el sistema auxiliar que funciona con gas LP.
- 3- La calidad e inocuidad de los productos es mejor en comparación con el secado al sol de manera directa, dado que la cámara de secado es completamente hermética y mantiene los productos totalmente aislados de los posibles contaminantes como insectos, roedores, aves y



**Figura 3.** Prototipo de secador solar desarrollado por el grupo de investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura, Sede Regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- polvo o bien, protegidos de la misma humedad relativa.
- 4- El uso y manejo de este secador es económico, dado que requiere de poca mano de obra, lo que disminuye los costos de operación.
  - 5- El mantenimiento del secador no tiene gran complejidad, puesto que los materiales que se emplean en su confección son de alta resistencia y durabilidad.
  - 6- El secador solar tiene un sistema de recolección de datos en tiempo real, lo cual permite al operador tener información disponible de manera continua que le permita realizar acciones correctivas en caso de presentarse algún problema durante el proceso de secado.
  - 7- Dispone de un sistema normal de termómetros que pueden ser visualizados desde el exterior para el control de la temperatura

### Resultados

Se cuenta con un prototipo del secador propuesto por el grupo de investigación (Figura 3), y apoyado de manera voluntaria por una empresa privada. Este prototipo ha permitido realizar pruebas de secado de diferentes productos agrícolas. El tiempo del proceso de secado oscila entre 40 - 48 horas, alcanzando contenidos de humedad de 12% en piña, 11% en café, 7% en cacao, 12% en cúrcuma, 7% en jengibre, 8% en ayote, y 11% en frijoles, los cuales se encuentran dentro de los rangos permitidos por

las normas internacionales (INCAP, 2012). Sin embargo, se continúa trabajando en la definición de los detalles y en la estandarización de los procesos de secado de cada uno de los productos.

### Conclusiones

El uso de la energía solar es una opción viable en la construcción de sistemas combinados de secadores, tanto pasivos como activos, para lograr el secado, deshidratación y la conservación de los productos agrícolas.

La energía electromagnética emanada del sol es ilimitada y está disponible en promedio de 200 - 500 W/m<sup>2</sup> en la mayor parte del mundo. El secado solar con estos sistemas tiene un efecto positivo en lo económico, lo ambiental y lo social, por lo que puede ser usado por cooperativas, asociaciones de productores, pequeños y medianos productores y también por grandes empresas.

El secado solar contribuye a la mitigación de los gases de efecto invernadero, lo cual permite reducir el efecto del cambio climático a nivel global.

### Bibliografía

- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). (2012). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2 ed.
- Jairaj, K.S.; Singh, S.P.; 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.; Rahim, N.A. (2014). A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 133-148.

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



UN ESTUDIO DE LA  
UNIVERSIDAD DE PRAGA, **LAS  
PERSONAS DE OJOS  
MARRONES INSPIRAN  
MÁS CONFIANZA** QUE LAS  
PERSONAS CON OJOS AZULES.