



## Desarrollo de tecnología de secado solar de productos agropecuarios para zonas rurales<sup>1</sup>

Octavio García Valladares,<sup>2</sup> Alfredo Domínguez Niño,<sup>3</sup>  
Víctor Gómez Espinoza<sup>4</sup>, Paulina Guillén Velázquez<sup>5</sup>

**Resumen.** Las tecnologías generadas en el grupo de secado solar del Instituto de Energías Renovables han servido como base para acciones en comunidades rurales relacionadas con diversos problemas alimentarios, así como apoyo al sector agroindustrial. Como muestra, la planta comunitaria de secado solar de Hueyapan, Morelos. Los secadores solares desarrollados van desde pequeños secadores de uso doméstico, secadores tipo

gabinete, túnel e invernaderos; han sido diseñados y evaluados experimentalmente en condiciones reales de operación, donde demostraron ser una herramienta eficiente por su impacto en la reducción del desperdicio de alimentos, el desarrollo comunitario sustentables (tanto económica como social y ambientalmente), en la reducción, de la emisión de gases a la atmósfera.

**Palabras clave:** secado solar, energía solar, deshidratación de alimentos, sector rural

- 1 Proyecto PAPIIT IN103021: “Secado Solar de Productos Agropecuarios”.
- 2 Instituto de Energías Renovables (IER). [ogv@ier.unam.mx](mailto:ogv@ier.unam.mx)
- 3 Cátedra SECIHTI en el IER. [aldoni@ier.unam.mx](mailto:aldoni@ier.unam.mx)
- 4 Instituto de Energías Renovables. [vhge@ier.unam.mx](mailto:vhge@ier.unam.mx)
- 5 Instituto de Energías Renovables. [pgv@ier.unam.mx](mailto:pgv@ier.unam.mx)



Se autoriza la copia, distribución y comunicación pública de la obra, reconociendo la autoría, sin fines comerciales y sin autorización para alterar, transformar o generar una obra derivada. Bajo licencia creative commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Introducción

Cada año, a nivel mundial, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), se pierden 1 300 millones de toneladas de alimentos, lo que provoca la emisión de aproximadamente el 8 % de los gases de efecto invernadero.<sup>6</sup>

En México, se desperdicia un 37 % de la producción nacional, lo que equivale a 30 millones de toneladas de alimentos al año y, se estima que más de 25 millones de mexicanos viven en pobreza alimentaria, dicho con otras palabras, no tienen acceso a una dieta nutritiva y suficiente<sup>7</sup>.

Esta situación compleja requiere de acciones contundentes que permitan no solo la reducción de desperdicios, sino la consolidación de las condiciones para una seguridad alimentaria a fin de lograr que las personas tengan acceso a una nutrición adecuada.

Una técnica que permite reducir el desperdicio de alimentos de una manera sostenible es el secado solar de alimentos, el cual utiliza la radiación solar como fuente de energía para disminuir la cantidad de agua presente en estos y que se considera una de las aplicaciones ancestrales de la energía solar (secado a cielo abierto). Este método consiste en retirar por evaporación el agua de los alimentos y traspasarla al aire que lo rodea; al secar se producen dos procesos al mismo tiempo: *a*) transmitir calor del aire caliente exterior al interior del alimento, y *b*) transferir la humedad del alimento al aire.

En el pueblo indígena de Hueyapan, Morelos, México, el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM implementó un proyecto social que atendió la problemática alimentaria, ambiental y social del lugar. Específicamente, para los habitantes del pueblo sus cultivos agrícolas representan ingresos económicos y alimentarios; sin embargo, el cuidado de los árboles frutales ha disminuido, porque ya no representan un alto valor comercial debido a los cambios en las tendencias del mercado agrícola y a los intermediarios necesarios para que lleguen esos productos al mercado.

6 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos (FAO, 2015). <https://www.fao.org/3/i4068s/i4068s.pdf>.

7 FAO, Alimentación y agricultura sostenibles (FAO, 2023). <https://www.fao.org/sustainability/es/>.

Con base en esta problemática, se implementó el Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas de Hueyapan, Morelos, con la finalidad de consolidar un espacio de trabajo comunitario y el acopio de alimentos (frutas, verduras, hierbas aromáticas y medicinales) para lograr revalorizar las frutas que están dejando de consumirse y así generar un efecto alimentario, social, cultural, ambiental y económico en Hueyapan.

El presente artículo describe las características de la tecnología de los secadores solares desarrollados por el grupo de secado solar del IER UNAM y su apropiación social para ser usados por mujeres, hombres y juventudes para la conservación alimentaria. Los secadores solares permitieron que las personas aprendieran a manejar las tecnologías en un contexto de economía circular (secado de alimentos mediante energía solar térmica y apoyo eléctrico por sistemas fotovoltaicos).

Los secadores solares se pueden clasificar en sistemas de secado solar pasivos (convección natural), donde el aire se calienta y mueve de forma natural por diferencia de densidad del fluido debido a la variación de temperatura, o activos (convección forzada), que utilizan ventiladores para mover el aire.

Desde el punto de vista de su interacción con la radiación solar se clasifican como directos (o de tipo integral), en los cuales la radiación solar incide directamente sobre los productos que se van a secar, lo cual hace que la humedad relativa del aire de secado se reduzca, y ello aumenta la capacidad de evaporar el agua de los productos; indirectos (o de tipo distribuido), donde los alimentos se colocan en una cámara de secado a oscuras y se secan con el aire que circula, que se calienta a través de captadores solares, y los secadores solares tipo mixto, que combinan las características de los secadores solares de tipo directo e indirecto.

En este artículo se presentan los sistemas solares desarrollados en el proyecto, que van desde pequeños secadores de uso doméstico hasta secadores de pequeña, mediana y gran capacidad para productores agropecuarios del sector rural.

## **Secadores solares desarrollados**

### **Secador para uso doméstico (secador directo)**

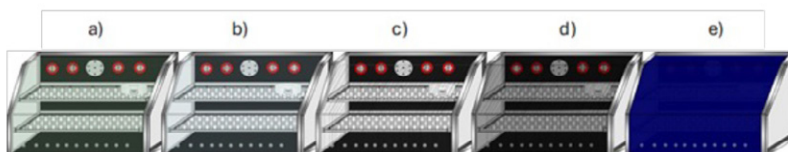
En estos secadores, los rayos solares son transformados en calor a través del efecto invernadero. Estos equipos (figura 1) tienen los siguientes elementos: *a*) una superficie que se debe orientar en dirección del sol, de manera que recibe y ab-

sorbe los rayos solares; b) una cubierta transparente que deja pasar la radiación solar; c) elementos aislantes en todo su cuerpo, para evitar que el calor generado se pierda al ambiente.

Estos están contruidos con materiales ligeros, con una buena transmitancia a la radiación solar y que actúan a su vez como aislante térmico con efecto de invernadero. Cuenta con un área de secado de 0.3 m<sup>2</sup> (y una capacidad, dependiendo de la presentación del alimento, entre 0.5 y 1 kg de producto fresco). Se han empleado de forma exitosa para la capacitación inicial de personas productoras indígenas, así como en la enseñanza en el sector educativo, puesto que son pequeños y fáciles de transportar.

Estos secadores han sido evaluados con diferentes productos de origen animal, plantas y frutas comestibles utilizando diferentes cubiertas (vidrio, policarbonato, acrílico, polietileno y, de forma indirecta, aluminio con superficie selectiva) para evaluar el tiempo de secado de los alimentos y cómo afectan estas cubiertas sus propiedades nutrimentales y color final. En la figura 1 se observan los secadores solares pasivos para uso doméstico con diferentes tipos de cubierta.

Figura 1. Secadores con diferentes cubiertas (vidrio, acrílico, policarbonato transparente, policarbonato oscuro y placa de aluminio con superficie selectiva)



Fuente: Elaboración propia.

Como ejemplo de alguno de los trabajos relacionados con estos equipos, se puede mencionar “Efecto del uso de un secador solar modificado sobre las propiedades fisicoquímicas del fruto de carambolo (*Averrhoa carambola* L.)”,<sup>8</sup> donde se aborda cómo las condiciones óptimas de secado dependen del material de la

8 Octavio García-Valladares, Cesar-Munguía, A. L., López-Vidaña, E. C., Castillo-Téllez, B., Ortiz-Sánchez, C. A., Lizama-Tzec, F. I. y Domínguez-Niño, A. “Effect by using a modified solar dryer on physicochemical properties of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.)”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 21, 1 (2022). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2650>.

cubierta del secador. En dicho trabajo se utilizaron cuatro materiales diferentes para la cubierta: vidrio, acrílico, policarbonato y polietileno.

En ese ejemplo, el contenido de humedad de las rodajas de carambolo se redujo de 89.2 % a un contenido de humedad final entre 2.2 y 5.9 % en un tiempo máximo de 650 minutos. La actividad de agua final de las muestras secas varió de 0.310 a 0.414. Se obtuvo que la degradación del ácido ascórbico es menor en los secadores de vidrio (159.5 mg/100 g base seca) y superiores en los secadores de polietileno (124.4 mg/100 g base seca) y la menor diferencia de color (13.83) obtenido por los parámetros de Hunter L., entre el producto fresco y seco se obtuvo con la cubierta de policarbonato, donde también se observó la mayor cantidad de carotenoides (4.3 mg/g base seca). Mientras tanto, desde el punto de vista de la rapidez del secado, el orden de menor tiempo a mayor fue vidrio, acrílico, policarbonato y polietileno.

### Captadores solares para calentamiento de aire

Este captador solar tiene un área de 1.7 m<sup>2</sup>, cuenta con canales rectangulares por los que pasa el aire a calentar, un absorbedor con superficie selectiva, vidrio solar de bajo contenido de hierro, y un aislamiento en el fondo y en sus partes laterales (figura 2). El captador fue patentado por el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM.

Figura 2. Captador solar para calentamiento de aire



**Fuente:** Elaboración propia.

Para el diseño y optimización de este captador, se realizó un modelo numérico para predecir su rendimiento térmico utilizando el método de volumen de

control con discretización tanto en sentido longitudinal como axial. El modelo numérico da la siguiente información: curvas de eficiencia térmica, modificador del ángulo de incidencia, temperatura distribución en las partes sólidas (aislamiento trasero, placa absorbente y cubierta transparente), y tanto la temperatura como valores de humedad en el flujo de aire a lo largo del colector.

El modelo fue validado estadísticamente utilizando 84 datos de eficiencia térmica obtenidos con tres disposiciones diferentes de calentadores de aire solares. El error relativo promedio entre los datos experimentales y numéricos para la eficiencia térmica fue  $\pm 5.4\%$ . Tras el análisis de mínimos cuadrados ponderados, los coeficientes  $a$  (interceptor) y  $b$  (pendiente) obtenidos son iguales a  $0.028 \pm 0.004$  y  $1.086 \pm 0.007$  respectivamente. Estos coeficientes confirman la idoneidad del modelo numérico para predecir con precisión el rendimiento térmico de los calentadores solares de aire.<sup>9</sup>

### Secador tipo gabinete (secador mixto)

El secador solar cuenta con 10 bandejas de 43 x 63 cm en el interior (un área de secado de 2.7 m<sup>2</sup> con una capacidad aproximada de entre 5 y 10 kg de producto fresco, dependiendo de la presentación en que se desee secar el alimento), más un captador solar para calentamiento de aire y un pequeño ventilador fotovoltaico, lo que lo hace totalmente autónomo (figura 3).

El equipo puede funcionar como un secado mixto (directo e indirecto) de los productos agropecuarios o puede convertirse en un secador indirecto si se cubre el gabinete con una malla sombra o algún otro material que se utiliza con productos en los que el color o sus propiedades podrían ser degradados por los efectos de la exposición directa a la radiación solar.

Este secador se puede desarmar y trasladar fácilmente en una pequeña camioneta, en caso de ser necesario, para instalarse en huertos donde se esté cosechando, o se puede emplear para dar cursos de capacitación en diferentes lugares o comunidades rurales.

<sup>9</sup> Rodolfo Pérez-Espinosa, Octavio García-Valladares e Isaac Pilatowsky, “Numerical modeling and experimental validation of Back-Pass rectangular ducts solar air heaters”. *Applied Thermal Engineering*, 171 (2020): 115018. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115018>.

Figura 3. Secador solar tipo gabinete



**Fuente:** Elaboración propia. Uno de los trabajos de investigación realizados con este secador es la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y colorimétricas de la especie zompante (*Erythrina americana*). Para lo cual fue operado con malla sombra para cubrir el gabinete (disminución de la radiación solar directa) y sin ella (modo directo) y variando el flujo de aire (convección natural y convección forzada). Se determinó que para conservar mejor las propiedades de la flor se debía usar la malla sombra.

En estas condiciones, la eficiencia total de secado (calculada con base en la energía necesaria para evaporar el agua del producto dividida entre la energía solar total recibida por el secador) fue de 17.1 % (García-Valladares, 2024), la temperatura máxima alcanzada fue de 62.3 °C, las proteínas completas en el producto deshidratado fueron 7.7 %; las grasas, 2.3 %; la fibra, 4.9 %; las cenizas, 8.1 %, y los sólidos solubles totales, 36 °Brix. Bajo estas condiciones también se asegura un color rojo en el zompante deshidratado. Las flores de zompante deshidratadas pueden tener varias aplicaciones prácticas, por ejemplo, como aditivo, no solo en la cocina tradicional mexicana, sino también para platos como pastas, cremas, harinas, entre otras.<sup>10</sup>

### Secador tipo túnel (secador mixto)

Se diseñó y construyó un secador solar tipo túnel de 40 charolas de 43 x 63 cm con un área de secado de 10.8 m<sup>2</sup> y una capacidad aproximada de entre 25 y 50 kg

<sup>10</sup> Octavio García-Valladares, Alfredo Domínguez-Niño, Ana María Lucho-Gómez, Andrea Gail Jiménez-Montiel, Arcel Siareth Rodríguez-Mendoza, Beatriz Castillo-Téllez, Mario Luna-Flores & Margarita Castillo-Téllez, "Mixed-Mode Solar Drying and its Effect on Physico-chemical and Colorimetric Properties of Zompante (*Erythrina Americana*)", *Plant Foods for Human Nutrition*, 79 (2024): 194-201. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01147-0>.

de producto fresco, dependiendo de la presentación en que se quiera secar el alimento. Cuenta con 4 captadores solares para calentamiento de aire en serie (de 1.7 m<sup>2</sup>, los presentados en la sección 2.2) y un ventilador accionado por un sistema fotovoltaico, lo cual le permite operar sin necesidad estar conectado a la red eléctrica. Al igual que el anterior, se puede utilizar como secador mixto o indirecto. En la figura 4 se muestra el secador solar tipo túnel desarrollado e instalado en Hueyapan, Morelos.

Figura 4. Secador solar tipo túnel.



Fuente: Elaboración propia.

En la investigación de las aplicaciones del secador solar tipo túnel se ha realizado, entre otras cosas, la evaluación térmica de un secador bajo diferentes condiciones de operación, una de ellas, por ejemplo, con cuarenta charolas de agua con medio litro cada una (20 kg de agua en total) para evaluar la eficiencia de secado y del secador, así como para observar cómo se comportan las diferentes áreas de secado del equipo.

Las pruebas se realizaron desde las 11:00 a las 15:00 horas (hora solar), periodo en el que se obtuvo una eficiencia de los 4 colectores conectados de serie de 35 % y una eficiencia de secado de 16.5 %<sup>11</sup> con temperaturas en el secador tipo

11 Daniel Hernández Tamayo, Rodolfo Pérez-Espinoza y Octavio García Valladares, “Evaluación térmica de un deshidratador solar tipo túnel mixto bajo diferentes condiciones de operación”. 3er Congreso Nacional de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos, Campeche, México (2022). <https://repositorio-energia.conahcyt.mx/jspui/handle/1000/138>

túnel de entre 45 a 65 °C. Al final de la prueba de secado con el agua, se midió el agua contenida en cada charola para ver la cantidad de agua que se había evaporado durante el transcurso de la prueba, la cual fue de 9.8 kg, con una insolación es ese periodo de 12.3 MJ/m<sup>2</sup>.

Los resultados de la evaporación del agua se pueden ver en la figura 5, donde, como era de esperarse, la cantidad de agua evaporada fue mayor en las charolas de arriba, que reciben directamente los rayos del sol, y en las charolas donde se ubica la entrada del aire caliente, lo que da la pauta para dos conclusiones u observaciones: a la mitad del proceso de secado de alimentos deberían rotarse las charolas de arriba hacia abajo y las más alejadas de la entrada de aire hacia la entrada de aire caliente (o bien, si tomamos como referencia la tabla 1, las cillas pintadas de color rojo y naranja hacia las posiciones amarillas y verdes) para poder obtener un secado más homogéneo. Adicionalmente, sería necesario trabajar en el rediseño de la entrada de aire al túnel para intentar que se tenga un secado más homogéneo a lo largo de todo el túnel.<sup>12</sup>

### Secador tipo invernadero (secador mixto)

El secador solar tipo invernadero está conformado por una nave curva con dimensiones de 8 m de largo x 8 m de ancho y mide 2.5 m en la parte más alta del domo; tiene un volumen aproximado de 160 m<sup>3</sup>. En el interior del secador, por la parte inferior, se instalaron 4 ductos para la distribución del aire caliente que proviene de los captadores solares, y tiene una capacidad actual de alojar cerca de 200 kg de producto fresco (160 charolas de 43 x 63 cm). En la figura 6 se muestra el secador solar tipo invernadero.

El sistema de energía solar está conformado por 16 captadores solares para calentamiento de aire de 1.7 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a un área total de captación de 27.2 m<sup>2</sup>; los captadores están distribuidos en cuatro hileras en paralelo, con cuatro captadores acoplados en serie para cada una de las hileras. El banco de captadores solares está acoplado e interconectado al secador tipo invernadero mediante ductos circulares. El aire a temperatura ambiente es inducido a través de los captadores solares mediante un extractor-ventilador centrífugo para después ser ingresado al secador solar.

El sistema solar fotovoltaico (SFV) para la generación de la energía eléctrica requerida está constituido por 4 paneles solares fotovoltaicos, con un área total

<sup>12</sup> Hernández Tamayo, Pérez-Espinoza y García Valladares, “Evaluación térmica de un deshidratador solar...”

de captación de 10.2 m<sup>2</sup> y una potencia máxima de 2200 w. Asimismo, cuenta con 4 baterías de carga para proporcionar una autonomía de operación del ventilador de hasta 4 horas.

Tabla 1. Representación esquemática de las charolas a lo largo y alto de secador y los gramos de agua evaporada en cada una de ellas durante la prueba

|   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 446 | 460 | 433 | 448 | 444 | 494 | 437 | 438 |
| 2 | 107 | 165 | 150 | 158 | 188 | 260 | 180 | 188 |
| 3 | 169 | 133 | 131 | 169 | 174 | 192 | 187 | 177 |
| 4 | 161 | 160 | 153 | 191 | 129 | 224 | 223 | 142 |
| 5 | 312 | 293 | 240 | 275 | 241 | 267 | 216 | 270 |



Fuente: Hernández Tamayo, Pérez-Espinoza y García Valladares.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Hernández Tamayo, Pérez-Espinoza y García Valladares, “Evaluación térmica de un deshidratador solar...”.

Figura 5. Secador solar tipo túnel  
en una prueba de secado con irradiación de  $12.3 \text{ MJ/m}^2$ ,  
humedad relativa ambiental de 48.6 %  
y una temperatura ambiente de  $34.2^\circ\text{C}$



Fuente: Hernández Tamayo, Pérez-Espinoza y García Valladares.<sup>14</sup>

Figura 6. Secador solar tipo invernadero



Fuente: Elaboración propia

---

14 Hernández Tamayo, Pérez-Espinoza y García Valladares, "Evaluación térmica de un deshidratador solar...".

### Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas de Hueyapan, Morelos

La planta comunitaria de secado solar de alimentos de Hueyapan (figura 7) cuenta con: cuatro secadores solares tipo gabinete; dos secadores solares tipo túnel; un secador solar tipo invernadero mixto y un cuarto de procesamiento de alimentos 64 m<sup>2</sup> con la infraestructura necesaria para la selección, el lavado, el desinfectado, el procesamiento, el empaque y el almacenamiento de los productos que serán secados, producidos y comercializados.

A su vez, cuenta con un sistema solar para calentamiento de agua con capacidad de 150 l, la cual es usada en los procesos de limpieza y desinfección. Los sistemas de secado solar instalados actualmente tienen una capacidad de 280 charolas (de 43 x 63 cm), lo que representa un área equivalente a 75.6 m<sup>2</sup>.

Esto permite que en un buen día de sol se puedan secar aproximadamente 170 kg de manzanas, peras o duraznos frescos en rebanadas de 3 mm de espesor, lo que producirá cerca de 17 kg de manzanas, peras o duraznos deshidratados, equivalentes a una producción diaria de alrededor de 500 bolsas comerciales de 35 g, o bien una producción mensual estimada de unas 10 000 bolsas.

Figura 7. Vista aérea del Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas de Hueyapan



Fuente: Captura de pantalla de IER UNAM.<sup>15</sup>

15 “Sembrando innovación en Hueyapan, Morelos” (video de YouTube). <https://www.youtube.com/watch?v=CWS7ZeNf29c>  
<https://www.youtube.com/watch?v=CWS7ZeNf29c>

## Conclusiones

La tecnología generada por investigadores del Instituto de Energías Renovables de la UNAM en secado solar de alimentos, y que cuenta con registro de propiedad intelectual, ha servido como base para diseñar acciones de trabajo relacionadas con el desarrollo comunitario sustentables (tanto económica como social y ambiental), de las comunidades rurales, por ejemplo, el caso del pueblo indígena de Hueyapan, Morelos.

La tecnología diseñada, desarrollada y evaluada ha obtenido excelentes resultados en campo debido a su fácil montaje y operación. Su implementación contribuye en la reducción del desperdicio de alimentos y, asimismo, fortalece el desarrollo económico comunitario del pueblo y de la región. Además, ofrece la oportunidad social de aumentar la producción y disposición de productos nutritivos en el mercado y en la mesa de las familias de la región.

De tal forma, la concurrencia entre la tecnología de los secadores solares y el aprendizaje de las personas para usar correctamente esta tecnología abre paso a la disminución de la desigualdad social, la pobreza y el hambre.

## Agradecimientos

Por el financiamiento, al proyecto PAPIIT IN103021 “Secado Solar de Productos Agropecuarios” y al proyecto CONAHCYT 319188 “Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas en Hueyapan, Morelos”.