

SECADO SOLAR: DESARROLLO DE SECADORES SOLARES PARA COMUNIDADES RURALES

Octavio García Valladares, Víctor Hugo Gómez Espinoza, Alfredo Domínguez Niño, Paulina Guillén Velázquez, Daniel Hernández Tamayo, Juan Pablo Hernández Jerónimo, Rocío Carmen Martina Cortés
Popoca

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Privada Xochicalco s/n Col. Centro, CP 62580, Temixco, Morelos, México
ogv@ier.unam.mx

RESUMEN

La tecnología termosolar generada por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en secado solar de alimentos, han servido como base para diseñar acciones de trabajo relacionadas con los diversos problemas alimentarios del pueblo indígena de Hueyapan, Morelos. Los secadores solares desarrollados y presentados en este artículo son evaluados experimentalmente y han sido una herramienta eficiente porque está impactando en la reducción del desperdicio de alimentos y, asimismo, fortalece el desarrollo económico comunitario del pueblo y de la región. El proyecto 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.

El centro comunitario para el secado solar de alimentos se ha convertido en el espacio generador de trabajo social, y el lugar para vivir la experiencia de transformar los alimentos que se han desechado durante años. La fusión entre la tecnología de los secadores solares y el aprendizaje de las personas para usar correctamente esta tecnología, da paso a la disminución de la desigualdad social, la pobreza y el hambre.

ABSTRACT

The solar thermal technology generated by the Renewable Energy Institute (UNAM) in solar food drying has served as a basis for designing work actions related to the various food problems of the indigenous people of Hueyapan, Morelos. The solar dryers developed and presented in this article are experimentally evaluated and have been an efficient tool because it is impacting the reduction of food waste and, likewise, strengthens the community economic development of the town and the region. The project offers the social opportunity to increase the production and availability of nutritious products in the market and on the tables of families in the region.

The community center for solar food drying has become the space that generates social work, and the place to live the experience of transforming food that has been discarded for years. The fusion between solar dryer technology and people's learning to correctly use this technology gives way to the reduction of social inequality, poverty and hunger.

Palabras claves: energía solar, secado solar, deshidratación solar, tecnología, alimentos.

INTRODUCCIÓN

Cada año a nivel mundial de acuerdo a la FAO, se pierden 1,300 millones de toneladas de alimentos lo que se traduce a emitir aproximadamente el 8% de los gases de efecto invernadero [FAO, 2015]. En México se desperdicia un 37% de la producción nacional, lo que equivale a 20 millones de toneladas de alimentos al año y de acuerdo a estas cifras 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 [FAO, 2023]. Esta situación compleja requiere de acciones contundentes que permitan no solo la reducción de desperdicios, sino también consolide 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 un alimento; se considera una de las aplicaciones de la energía solar ancestral (secado a cielo abierto).

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. En el proyecto se diseñó, construyó y puso en operación un centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos con el objetivo para reducir el desperdicio de alimentos, buscando contribuir en la disminución del impacto ambiental, incrementar el desarrollo económico comunitario de la región, así como una mayor producción y disposición de productos nutritivos en el mercado y en la mesa de las familias de la región.

La finalidad del centro es, consolidar un espacio de trabajo comunitario y el acopio de alimentos (frutas, verduras, hierbas aromáticas y medicinales) para lograr revalorizar los productos que están dejando de consumirse y generar un impacto alimentario, social, cultural, ambiental y económico. Específicamente, el presente artículo describe las características de la tecnología de los secadores solares y su apropiación social para ser usados por mujeres, hombres, niñas, niños y juveniles de Hueyapan para la conservación alimentaria. Los secadores solares, permitieron que las personas aprendieran a manejar las tecnologías generadas en un contexto de economía circular.

TECNOLOGÍA DE SECADO SOLAR DESARROLLADA

Secador solar para uso doméstico y capacitación de niños, jóvenes y adultos.

En estos secadores, los rayos solares son transformados en calor a través del efecto invernadero en un secador solar (Figura 1a), que tiene los siguientes elementos: a) una superficie que se debe orientar hacia la dirección del Sol, que recibe y absorbe los rayos luminosos; b) una cubierta transparente, que deja pasar la radiación solar y evita el escape del calor; c) elementos aislantes en todo su cuerpo para evitar que el calor generado se pierda al ambiente.

Está construido con materiales ligeros, con una buena transmitancia a la radiación solar y que actúa a su vez como aislante térmico con efecto de invernadero. Cuenta con un área de secado de 0.3 m² (una capacidad entre 0.5 y 1 kg de producto fresco dependiendo de la presentación en que se seque el alimento); son para uso doméstico y son comerciales. Se han empleado de forma exitosa para la capacitación inicial de personas productoras indígenas, así como en la enseñanza (ver Figura 1b) en el sector educativo (jardín de niños, primaria y secundaria), ya que son pequeños y fáciles de transportar. Y se han dejado en las bibliotecas de las escuelas para que los alumnos los puedan sacar prestados y utilizarlos en sus casas.

Estos secadores han sido evaluados con diferentes plantas y frutas comestible utilizando diferentes cubiertas (vidrio, policarbonato, acrílico, polietileno y superficie selectiva), para evaluar el tiempo de secado del alimento y como afectan estas cubiertas las propiedades nutrimentales y el color final del alimento.



Figura 1 a) Secador solar uso doméstico b) enseñanza a nivel básico utilizando estos secadores c)secador con diferentes cubiertas

Como ejemplo de alguno de los trabajos realizados con estos equipos, se tiene el de “Efecto del uso de un secador solar modificado sobre las propiedades fisicoquímicas del fruto de carambola (Averrhoa carambola L.)” [García-Valladares et al., 2022], donde se analiza cómo las condiciones óptimas de secado dependen del material de la cubierta del secador. En dicho trabajo, se modificó la cubierta un secador solar con cuatro materiales diferentes: vidrio, acrílico, policarbonato y polietileno (Figura 1c). El contenido de humedad de las rodajas de carambola se redujo de 89.23% a un contenido de humedad final entre 2.2% y 5.9% en un tiempo máximo de 650 min. 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 (159.50 mg/100 g base seca) y superiores en secadores de polietileno (124.37 mg/100 g base seca) y la menor diferencia de color (13.83) obtenido por los parámetros de Hunter L, a y b entre el producto fresco y seco se obtuvo con la cubierta de policarbonato donde también se obtuvo la mayor cantidad de carotenoides (4.26 mg/g base seca). Mientras que desde el punto de vista de la rapidez del secado el orden de menor tiempo a mayor fue: vidrio, acrílico, policarbonato y polietileno.

Secador solar tipo gabinete (secador mixto) para pequeños productores.

El secador solar cuenta con 10 bandejas de 43 x 63 cm en el interior (un área de secado de 2.7 m² con una capacidad aproximada de entre 5 y 10 kg de producto fresco dependiendo de la presentación en que se desee secar el alimento), un captador solar para calentamiento de aire y un pequeño ventilador fotovoltaico, lo que lo hace totalmente autónomo (ver Figura 2a). 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 para utilizarse con productos donde el color o propiedades puedan ser degradados por los efectos de 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 y hacer pruebas locales de deshidratación solar o se puede emplear para dar cursos de capacitación en diferentes lugares o comunidades (Figura 2b). Uno de los trabajos de investigación realizados con este secado es la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y colorimétricas de Zompantle (*Erythrina americana*). Para lo cual fue operado en diferentes formas con malla sombra para cubrir el gabinete (modo indirecto) y sin ella sombra (modo directo), y variando el flujo de aire (convección natural y convección forzada). Se obtuvo 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 a la energía necesaria para evaporar el agua del producto dividida entre la energía solar total recibida por el secador [García-Valladares et al., 2022]) fue 17.10%, la temperatura máxima alcanzada fue de 62.28 °C, las proteínas completas en el producto deshidratado fueron 7.65%, grasas 2.30%, fibra 4.93%, cenizas 8.08% y sólidos solubles totales 36°Brix. Bajo estas condiciones también se asegura un color rojo en el zompantle deshidratado. Con lo que se sugiere utilizar el secador solar en modo indirecto sin exposición a la radiación solar. Las flores de Zompantle deshidratadas pueden tener varias aplicaciones prácticas, por ejemplo, como aditivo no sólo en la cocina tradicional mexicana sino también para platos como pastas, cremas, harinas e incluso formulados alimentos [García-Valladares et al., 2022].



Figura 2 a) Secador solar tipo gabinete. b)

Secador solar 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 m² y una capacidad aproximada de entre 25 y 50 kg 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 m², los presentados en la subsección 2.2) y un ventilador accionado por un sistema fotovoltaico lo que le permite operar sin necesidad estar conectado a la red eléctrica (Figura 4a) o bien con electricidad (Figura 4b). Al igual que el anterior se puede utilizar como secador mixto o indirecto.



Figura 3 a) Secador solar tipo túnel ventilador fotovoltaico b) secador solar tipo túnel ventilador eléctrico

En la investigación de las aplicaciones del secador solar tipo túnel, se han realizado entre otras cosas la evaluación térmica de un secador bajo diferentes condiciones de operación, una de ellas por ejemplo con 40 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 comporta las diferentes áreas de secado del secador. Las pruebas se realizaron desde las 11 a las 15 horas (hora solar), obteniéndose una eficiencia de los 4 colectores conectados de serie de 35% y una eficiencia de secado de 16.5% [Hernández Tamayo et al., 2022] con temperaturas en el secador tipo túnel de 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 9.82 kg, con una insolación es ese periodo de 12.3 MJ/m². Los resultados de la evaporación del agua se pueden ver en la Figura 4, 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 de 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 caliente hacia la entrada de aire (o bien si tomamos como referencia la Tabla 1, las casillas pintadas de color rojo y naranja hacia las posiciones amarillas y verdes) para poder obtener un secado más homogéneo. Adicionalmente se trabajará en rediseñar la entrada de aire al túnel para intentar que se tenga un secado más homogéneo a lo largo de todo el túnel [Hernández Tamayo et al., 2022].

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

	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



Figura 4 Secador solar tipo túnel en un prueba de secado con irradiación de 12.3 MJ/m², humedad relativa ambiental de 48.6 % y una temperatura ambiente de 34.2 °C.

Secador solar 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 2.5 m en la parte más alta del domo; tiene un volumen aproximado de 160 m³. En el interior del secador por la parte inferior se instalaron 4 ductos para la distribución del aire caliente proveniente de los captadores solares, tiene una capacidad de alojar cerca de 200 kg de producto fresco (160 charolas de 43 x 63 cm). En la Figura 5 se muestra el secador solar tipo invernadero.

El sistema solar está conformado por 16 captadores solares para calentamiento de aire de 1.7 m² obteniendo un área total de captación de 27.2 m²; el arreglo de los captadores está distribuido 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 8 paneles solares fotovoltaicos, donde cada panel tiene un área de captación de 2.56 m² y 550 W de potencia eléctrica máxima, lo que da un área total de captación de 20.4 m² con 4400 W de potencia máxima. El SFV opera de manera continua acoplado al secador durante los periodos con suficiente radiación. El sistema cuenta con 8 baterías de carga para proporcionar una autonomía de operación al ventilador de hasta 4 h.

Centro Comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan.

La planta comunitaria de secado solar de alimentos de Hueyapan (ver Figura 6) cuenta con: 4 secadores solares tipo gabinete; 2 secadores solares tipo túnel; un secador solar tipo invernadero mixto y un cuarto de procesamiento de alimentos 64 m² con la infraestructura necesaria para la selección, el lavado y desinfectado, el procesamiento, el empaque y el almacenamiento de los productos que se van a secar, producir y comercializar. Cuenta con un sistema solar de 150 litros para calentamiento de agua, la cual es usada para 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 de secado solar de alimento equivalente a 75.6 m². Esto permite que en un buen día de sol se pueda 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 5 Secador solar tipo invernadero



Figura 6 Vista área del Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas de Hueyapan. Video: <https://www.youtube.com/watch?v=CWS7ZeNf29c>

EL INTERCAMBIO DE SABERES PARA LA TRANSFORMACIÓN AMBIENTAL Y ALIMENTARIA.

La responsabilidad social para conservar un medioambiente sano, en favor de las personas y el planeta, es fundamental para lograr erradicar la pobreza. Para lograr estos objetivos, el IER con el apoyo de Conahcyt, crearon este proyecto que permitió establecer un diálogo, para promover nuevas prácticas alimentarias con base a la enseñanza del secado solar.

Hueyapan está en Morelos, en las estribaciones del Volcán Popocatepetl. Sus tierras son muy fértiles y cuentan con un excelente suministro de agua, lo cual genera una alta producción de cultivos agrícolas durante todo el año, que terminan clasificándose como desperdicio alimentario. Los desperdicios alimentarios representan un impacto negativo en el medio ambiente porque nadie los consumirá. [FAO, 2015]

El trabajo del Centro Comunitario se sustentó el empleo de metodologías participativas para asegurar el respeto cultural y ecológico. Para lograr los objetivos, se establecieron 4 componentes:

- a. **Creación de una planta de secado solar de alimentos.** Es un espacio de trabajo donde dialogan la ciencia y la visión cultural, social, climática, histórica y geográfica, porque en él se realizan las prácticas de transformación de las frutas. Se creó la cooperativa FRUtas FREscas DEShidratadas para la COmercialización (FruFreDesCo) de carácter productivo y social; con base al respeto de las decisiones y a la cultura organizacional de los productores. La cooperativa cuenta con 8 mujeres y 7 hombres, encabezados por una presidenta elegida por unanimidad.
- b. **Ejecución de programas educativos.** El manejo de la tecnología generadora de energía limpia para el secado de alimentos, fue el medio para valorar sus saberes y sabores culturales promoviendo un pensamiento crítico en las y los alumnos de educación básica (jardín de niños, primaria y secundaria). Los programas educativos y de capacitación sobre la deshidratación solar de alimentos, higiene y valores nutrimentales de productos locales, son acordes con los procesos culturales alimentarios y cuidado del ambiente y se adaptan al nuevo modelo educativo; además de con el interés suscitado se hicieron también talleres para los padres de familia con perspectiva de género, cada destacar la mayor participación y empuje de las mujeres en estos talleres. Para lo anterior cabe destacar la elaboración del libro tipo cuento “El secreto de Julia para secar alimentos con el sol”, el cual abre la oportunidad de desarrollar el interés y la intención de manejar estrategias de conservación y transformación de los alimentos. El libro ha sido traducido al náhuatl de Hueyapan por integrantes de la cooperativa; trae en la parte final un instructivo para el armado de un secador solar (Figura 7a). Además, se han utilizado medios masivos de divulgación como el TikTok para fomentar entre los más jóvenes en interés por el secado solar de alimentos (como ejemplo Figura 7b: https://www.tiktok.com/@secado_solar_ier.unam/video/7170108264296893702).
- c. **Tecnología generadora de energía limpia para el deshidratado de alimentos en un contexto de economía circular.** Se logró que los pequeños productores indígenas, valoraran el uso del secado solar de sus alimentos para el mejoramiento de su contexto aplicando las tecnologías de secado solar de alimentos realizadas de acuerdo al clima de la región y a los productos que se van a secar, utilizando tecnología 100% nacional, fácil de usar y dada la capacitación adecuada para que se apropien de estas tecnologías.
- d. **Cadenas rentables y justas de comercialización, poniendo énfasis en la transformación alimentaria de las frutas consideradas como desperdicio.** La planta fortaleció el trabajo colectivo para garantizar que los pequeños productores, realicen una justa comercialización de los productos deshidratados y reciban los beneficios sociales, económicos y alimentarios. Se creó y registró la marca HUELIC (“sabroso” en náhuatl, ver Figura 7c), así como el diseño de su empaque final con los sellos, tabla nutrimental y demás requisitos para su venta masiva. Con lo anterior se ha iniciado su venta en diferentes mercados ecológicos y en algunas plazas donde se ha dado a conocer con bastantes buenos resultados, aunque aún se espera ampliar los puntos de venta y la venta de los mismos en un futuro cercano para lo cual se llevan a cabo con los productores indígenas de la cooperativa

talleres sobre marketing, producto, precio, plaza y promoción con el objetivo de ayudar a consolidar el proyecto y hacerlo viable a largo plazo.



Figura 7 a) Libro bilingüe español-náhuatl “El secreto de Julia para secar alimentos con el sol”. Descarga gratuita del libro: <https://doi.org/10.22201/ier.9786073066525e.2022> b) TikTok ¿Cómo se deshidratan las frutas? c) Producto HUELIC

CONCLUSIONES

La tecnología generada, instalada y evaluada por investigadores del Instituto de Energías Renovables de la UNAM en secado solar de alimentos, han servido como base para diseñar acciones de trabajo relacionadas con los diversos problemas alimentarios de comunidades rurales, poniendo como ejemplo el pueblo indígena de Hueyapan, Morelos. La tecnología desarrollada ha sido diseñada, evaluada y se han obtenido buenos rendimientos térmicos. Su implementación está impactando en la reducción del desperdicio de alimentos y, asimismo, fortalece el desarrollo económico comunitario del pueblo y de la región. La tecnología 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.

El Centro Comunitario se ha convertido en el espacio generador de trabajo social, y el lugar para vivir la experiencia de transformar los alimentos que se han desechado durante años en Hueyapan. También es el espacio que cobra un significado social para el cuidado de la riqueza agrícola y alimentaria del pueblo. La fusión entre la tecnología de los secadores solares y el aprendizaje de las personas para usar correctamente esta tecnología, da paso a la disminución de la desigualdad social, la pobreza y el hambre.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por proyecto CONAHCyT 319188: Centro Comunitario para el Deshidratado Solar de Productos Agropecuarios de Pequeños Productores Indígenas de Hueyapan, Morelos.

REFERENCIAS

- FAO (2015). Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i4068s/i4068s.pdf>
- FAO (2023). Alimentación y agricultura sostenibles. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved December 29, from <https://www.fao.org/sustainability/es/>
- O. García-Valladares, A.L. Cesar-Munguia, E.C. López-Vidaña, B. Castillo-Téllez, C.A. Ortiz-Sánchez, F.I. Lizama-Tzec, A. Domínguez-Niño (2022). Effect by using a modified solar dryer on physicochemical properties of carambola fruit (Averrhoa carambola L.). Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 21, No. 1, Alim2650. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2650>
- O. 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 (2024). Mixed-Mode Solar Drying and its Effect on Physicochemical and Colorimetric Properties of Zompantle (*Erythrina Americana*). Plant Foods for Human Nutrition. Vol. 79 pp 194-201. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01147-0>
- D. Hernández Tamayo, R. Pérez-Espinoza, O. García Valladares (2022). 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.