

## Diseño y construcción de un secador solar para agroresiduos con un enfoque en bioeconomía circular

María Mariana González-Urrieta <sup>1</sup>, Cecilia Vázquez-Gonzalez <sup>1</sup>, José Miguel Téllez-Zepeda <sup>2</sup>, Lorena Hernández-Velázquez <sup>3</sup>, José Arturo Olguín-Rojas <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería en Alimentos, Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Av. Universidad Tecnológica No. 1, Col. La Villita, CP. 7777, Tecamachalco, Puebla, México.

<sup>2</sup> Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Av. Universidad Tecnológica No. 1, Col. La Villita, CP. 7777, Tecamachalco, Puebla, México.

<sup>3</sup> Licenciatura de Desarrollo de Negocios y Mercadotecnia, Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Av. Universidad Tecnológica No. 1, Col. La Villita, CP. 7777, Tecamachalco, Puebla, México.

\* Autor de correspondencia: [j.a.olguin.rojas@personal.uttecama.edu.mx](mailto:j.a.olguin.rojas@personal.uttecama.edu.mx)

### Artículo de divulgación científica

Recibido: 6 de junio de 2025    Aceptado: 11 de julio de 2025    Publicado: 4 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.480>

**Resumen:** El secado solar representa una alternativa sostenible para el aprovechamiento de agroresiduos, al permitir la conservación de productos agrícolas sin el uso de combustibles fósiles. En este proyecto se diseñó y construyó un secador solar indirecto, empleando materiales reciclados provenientes de mobiliario en desuso, con un enfoque en economía circular. El equipo incluye una cámara de secado, un captador solar, y un extractor alimentado por un panel solar que facilita la convección forzada. Para validar su funcionamiento, se realizaron pruebas con agroresiduos de cactáceas como cáscara de pitaya (*Stenocereus proinosus*.) y cladodios de pitahaya (*Hylocereus undatus*) obtenidos en la región Mixteca de Puebla. Se monitorearon curvas de pérdida de humedad y parámetros ambientales dentro de la cámara de secado. Los resultados mostraron una eficiencia aceptable del sistema, reduciendo la humedad de los materiales en un periodo de 12 horas. El proyecto integra principios de los ODS 7 y 12, al fomentar el uso de energías limpias y la valorización de residuos agrícolas. Además, su implementación en contextos académicos promueve el aprendizaje práctico y el desarrollo de competencias en tecnologías sustentables.

**Palabras clave:** bioeconomía circular; cactáceas; energías renovables

### Introducción

El secado de productos agrícolas es una etapa fundamental en la industria agroalimentaria, ya que permite prolongar la vida útil de frutas, hortalizas y sus subproductos (como cáscaras y semillas), facilitando su almacenamiento, transporte y comercialización (Alonge *et al.*, 2020; Sreekumar *et al.*, 2008). Tradicionalmente, este proceso se realiza mediante métodos convencionales los cuales, suelen ser energéticamente costosos y dependientes de fuentes no renovables. En este contexto, los secadores solares indirectos se han consolidado como una alternativa eficiente, económica y sustentable frente al secado al sol tradicional, especialmente en zonas rurales o de difícil acceso a energía eléctrica., basada en la conversión de la radiación solar en calor para remover la humedad de los alimentos (Quintanar Olguin y Roa Durán, 2017; El-Mesery *et al.*, 2022).

El diseño básico consta de tres componentes principales: un colector solar de aire, una cámara de secado aislada y un sistema de ventilación que puede ser natural o forzado. El colector capta la radiación solar y calienta el aire, que luego es conducido hacia la cámara donde se alojan los productos, lo cual permite controlar mejor las condiciones de secado y mantener las propiedades sensoriales y nutricionales del alimento (Lingayat *et al.*, 2020; Khidir, 2023).

La implementación de esta tecnología en espacios rurales se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 de la Agenda 2030, que promueve el acceso a una energía asequible, segura y limpia para todos (“Energía asequible y no contaminante”). Adicionalmente, el uso de la tecnología de secado solar en contextos agroalimentarios permite aprovechar subproductos o residuos como cáscaras, bagazos y podas, integrándose al enfoque de bioeconomía circular. Este aprovechamiento contribuye directamente al ODS 12: Producción y consumo responsables, al fomentar la valorización de residuos agrícolas y reducir el desperdicio mediante prácticas de transformación sustentables. De esta manera, se promueve una cadena productiva más eficiente, con menores impactos ambientales y mayor valor agregado (FAO, 2022).

De igual forma, la implementación de secadores solares en entornos académicos e institucionales permite, además, desarrollar capacidades técnicas en torno al aprovechamiento de energías renovables y la transformación agroindustrial. En este marco, el presente proyecto plantea el diseño y construcción de un secador solar que pueda utilizarse en prácticas de laboratorio. Su estructura fue fabricada con materiales reciclados, lo que contribuye a reducir costos, disminuir residuos y reforzar el enfoque de economía circular.

El objetivo del presente proyecto fue el diseño y la construcción de un secador solar indirecto, elaborado con materiales reciclados, destinado al secado de subproductos de cactáceas, como la cáscara de pitaya de mayo (*S. proinosus*) y cladodios de pitahaya (*H. undatus*).

## Desarrollo

### Diseño y construcción del secador solar

La economía circular busca reducir y cerrar los ciclos de materiales mediante el reciclaje, la reutilización y el diseño sostenible, con el objetivo de minimizar los residuos y la dependencia de los recursos vírgenes (Mejía Ochoa *et al.*, 2024; Tan & Lamers, 2021). En el contexto se realizó la búsqueda de materiales para la construcción del secador solar, partiendo de mobiliario de oficina (sillas, mesas y anaqueles) considerado como desecho. Con los materiales recuperados se establecieron las dimensiones del secador, en la Tabla 1 se presentan los resultados del diseño del secador solar, en la Figura 1 se presenta el diseño del equipo.

Tabla 1. Dimensiones del secador solar.

Componente	Dimensiones
Largo, ancho y altura	148 x 70 x 125 cm
Volumen de la cámara de secado	0.235 m <sup>3</sup>
Área del captador de radiación solar	0.55 m <sup>2</sup>
Volumen del captador de radiación solar	0.1134 m <sup>3</sup>

Los materiales fueron limpiados y ajustados de acuerdo con los requerimientos del diseño, la construcción se realizó con la ayuda de aprendientes del programa Educativo de Procesos Bioalimentarios (Fig. 2). Al equipo de secado se añadió un extractor de humedad el cual funciona con un panel solar de 20 W (Fig. 2), con una velocidad promedio de aire de  $2.5 \pm 0.2$  m/s, facilitando el secado mediante convección forzada. En el futuro, se planea automatizar el equipo de secado mediante un sistema auxiliar de calentamiento y entrada de aire, que estará asistido por una batería y panel solar. Una vez concluida la construcción se validó el equipo realizando cinéticas de secado con agroresiduos de la cadena productiva de frutos de cactácea.

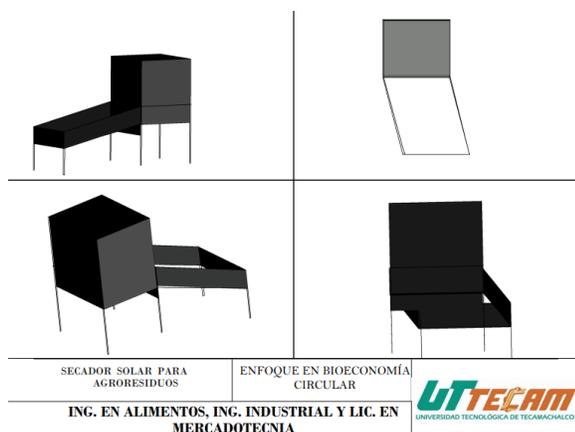


Figura 1. Diseño del secador solar indirecto.

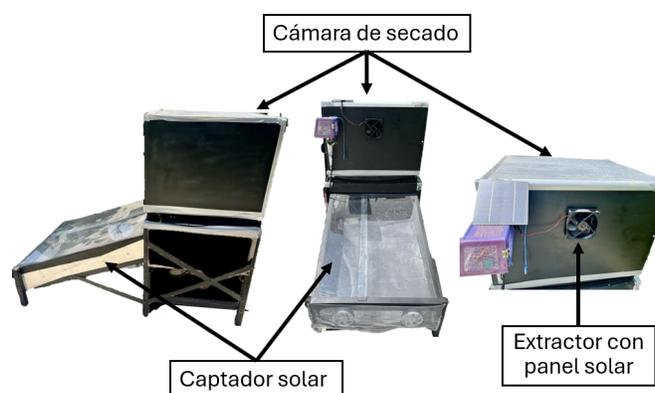


Figura 2. Secador solar construido a partir de residuos de mobiliario de oficina.

### Inducción a la bioeconomía circular

La bioeconomía circular integra a la economía circular priorizando el uso circular de la biomasa, el reciclaje de subproductos y el cierre del ciclo del carbono, con un fuerte énfasis en los principios ecológicos y la energía renovable (Muscat *et al.*, 2021). Para la evaluación del secador se realizaron cinéticas de secado de agroresiduos provenientes del sistema productivo de frutos de cactácea de la región Mixteca del Estado de Puebla, los cuales fueron cáscara de pitaya de mayo (*Stenocereus proinosus*) y podas de cladodios de pitahaya (*Hyloserus undatus*). Estos residuos, usualmente desechados, son ricos en fibra, compuestos fenólicos y betacianinas, por lo que tienen potencial para transformarse en harinas funcionales, suplementos alimenticios o incluso precursores de bioproductos (Lesmana *et al.*, 2022) Su incorporación en alimentos de consumo diario como galletas, puede mejorar el perfil nutricional al reducir compuestos nocivos y aumentar la capacidad antioxidante (Chumroenvidhayakul *et al.*, 2023).

Los cladodios de pitahaya se colectaron de parcelas de cultivo originarias de podas, fueron lavados con agua corriente para reducir la materia extraña presente posteriormente fueron reducidos en tamaño a rodajas de  $5 \pm 1$  mm. Las cáscaras de pitaya se obtuvieron después del despulpado de los frutos y de igual manera lavadas. 250 g de cada agroresiduo fueron colocados en el secador solar a las 7:00 am por un periodo de 12 horas, se monitorearon las curvas de pérdida de humedad (Fig. 3a) y la evolución de la temperatura ambiente y la temperatura y humedad relativa en el interior de la cámara de secado (Fig. 3b).

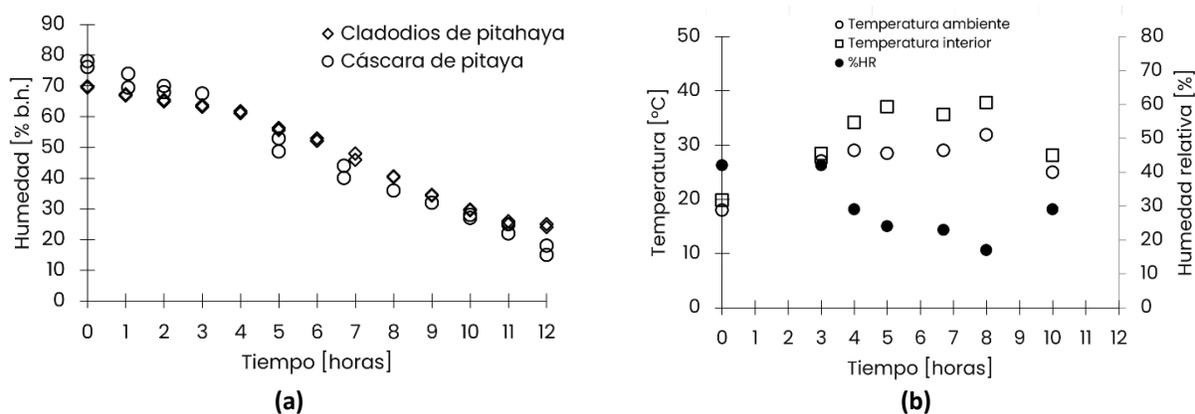


Figura 3. Cinéticas de secado de agroresiduos de cactáceas. (a) evolución de la humedad con respecto al tiempo y (b) evolución de la temperatura ambiente, humedad y temperatura del aire de secado en el secador.

En la Figura 3a se puede observar la cinética de humedad durante el secado de cladodios de pitahaya y cáscara de pitaya, los tiempos del proceso son congruentes con los reportados por otros autores durante el secado de frutas (Vega-Vázquez *et al.*, 2023). Posteriormente se determinó la eficiencia del secador utilizando las ecuaciones 1 - 3 (López-Vidaña *et al.*, 2020),

$$\eta_c = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{interior} - T_{exterior})}{Ac \cdot I} \quad (1)$$

$$Q_u = Ac \cdot I \cdot \eta_c \quad (2)$$

$$\eta_s = \frac{m_{H_2O} \cdot h_{fg}}{Ac \cdot I} \quad (3)$$

Donde  $\dot{m}$  flujo masico de aire (kg/h),  $C_p$  capacidad calorífica del aire a presión constante (1.005 kJ/kg K),  $T_{exterior}$  temperatura exterior del secador ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{interior}$  temperatura interior del secador ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Ac$  es el área del colector ( $\text{m}^2$ ),  $I$  es la radiación solar global ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ),  $\eta_c$  es la eficiencia del colector.  $Q_u$  es el calor útil (Wh),  $m_{H_2O}$  masa de agua evaporada (kg),  $h_{fg}$  calor latente de evaporación a  $50^{\circ}\text{C}$  (2383 kJ/kg),  $\eta_s$  eficiencia del secador.

Tomando en cuenta una radiación solar global de 6733 Wh/m<sup>2</sup> del 15 de mayo de 2025 (Tutiempo.net.), se estimó una eficiencia del colector del 22.1%, valor consistente con el rango de 20 a 50% reportado por Fakoor *et al.* (2011) para calentadores solares. Se determinó la cantidad de energía útil en el secador ( $Q_u$ ) de 820.8 Wh y la eficiencia del secador ( $\eta_s$ ) de 6.1%, resultados similares a los reportados por otros autores (López-Vidaña *et al.*, 2020; Yassen *et al.*, 2021).

## Conclusiones

El diseño y construcción de un secador solar a partir de materiales reciclados permitió desarrollar una tecnología accesible, eficiente y alineada con los principios de la bioeconomía circular. Las pruebas realizadas con residuos de frutos de cactáceas demostraron que el equipo tiene un desempeño adecuado para reducir la humedad en tiempos comparables con los reportados en la literatura. Además, su implementación en espacios académicos contribuye a la formación de estudiantes y al fortalecimiento de competencias en tecnologías sostenibles. Este proyecto representa una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el impulso de prácticas responsables en el manejo de recursos energéticos y materiales.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al programa educativo de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Tecamachalco por su asistencia técnica. De igual manera un agradecimiento especial al Ingeniero Osvaldo Castro García y a las alumnas del 8vo cuatrimestre del Programa educativo de Procesos Bioalimentarios por su apoyo en la construcción del equipo de secado.

## Bibliografía

- Alonge, A., Olaniyan, A., Oje, K., & Ajayi, K. (2020). Design, construction and preliminary testing of an automated solar dryer for cassava chips. *Journal of Engineering in Agriculture and the Environment*, 5(2). <https://doi.org/10.37017/jeae-volume5-no2-2019-3>
- Chumroenvidhayakul, S.; Thilavech, T.; Abeywardena, M.; Adisakwattana, S. (2023). Dragon fruit peel waste (*Hylocereus undatus*) as a potential ingredient for reducing lipid peroxidation, dietary advanced glycation end products, and starch digestibility in cookies. *Antioxidants* 2023, 12, 1002. <https://doi.org/10.3390/antiox12051002>
- El-Mesery, H. S., El-Seesy, A. I., Hu, Z., & Li, Y. (2022). Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112070. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112070>
- Fakoor Pakdaman, M., Lashkari, A., Basirat Tabrizi, H., & Hosseini, R. (2011). Performance evaluation of a natural-convection solar air-heater with a rectangular-finned absorber plate. *Energy Conversion and Management*, 52, 1215–1220. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.028>
- FAO. (2022). FAO and the 17 Sustainable Development Goals: Chapter 1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/acf72f06-1ff0-4a38-acd2-a2799205bde9/content>
- Khidir, D. (2023). Manufacturing and evaluating of indirect solar dryers. *ARO–The Scientific Journal of Koya University*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.14500/aro.11127>
- Lesmana, D., Vianney, Y. M., Goenawan, Y. A., Natalie, K., Sukweenadhi, J., Buschle-Diller, G., Mukti, Y. P., Erawati, C. M., & Purwanto, M. G. M. (2022). Valorization of peel-based agro-waste flour for food products: A systematic review on proximate composition and functional properties. *ACS Food Science & Technology*, 2(1), 3–20. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00353>
- Lingayat, A., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, 258, 114005. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
- López-Vidaña, E. C., César-Munguía, A. L., García-Valladares, O., Pilatowsky Figueroa, I., & Brito Orosco, R. (2020). Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*). *Renewable Energy*, 147, 845–855. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.018>
- Mejía Ochoa, F. J., Rosas Leyva, M. A., & Hernández Salinas, G. (2024). Economía circular en países con economías emergentes: Un estudio comparativo. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.183>
- Muscat, A., de Olde, E. M., Ripoll-Bosch, R., van Zanten, H. H. E., Metze, T., Termeer, C. J. A. M., van Ittersum, M. K., & de Boer, I. J. M. (2021). Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy. *Nature Food*, 2, 561–566. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00340-7>
- Quintanar Olguin, J., y Roa Durán R. 2017. Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2). México, ME:321-31. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.53>
- Sreekumar, A., Manikantan, P. E., & Vijayakumar, K. P. (2008). Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1388–1395. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.005>
- Tan, E., & Lamers, P. (2021). Circular bioeconomy concepts—A perspective. *Frontiers in Sustainability*, 2, 701509. <https://doi.org/10.3389/frsus.2021.701509>
- Tutiempo.net. (2025). Radiación solar en Tecamachalco (México) - Energía solar. Recuperado el 13 de mayo de 2025, de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/tecamachalco.html>
- Vega Vázquez, J., Jiménez Zaragoza, O., López Román, R., & Arroyo Luna, B. (2023). Deshidratador solar de frutas: Transformando la energía solar en confort y eficiencia. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 2(1), 218–225. <https://aldeser.org/journals/index.php/TERYS/article/view/360>
- Yassen, T.A., Al-Jethelah, M.S.M., Dheyab, H.S. (2021). Experimental study of innovative indirect solar dryers. *International Journal of Heat and Technology*, 39(4), 1313-1320. <https://doi.org/10.18280/ijht.390430>