

## Evaluación de un Deshidratador Solar de Frutas Construido con Materiales Recuperados y Operado por Convección Natural

María de la Luz Delgadillo-Torres <sup>1,\*</sup>, Francisco Jacob Ávila-Camacho <sup>2</sup>, Mariana Barcenas-Castañeda <sup>3</sup> y Arturo Aguilar-Pérez <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Procesos, Ing. Química, TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), Ecatepec, Edo. de Mex., México.

<sup>2</sup> Centro de Cooperación Academia Industria, Ing. en Sistemas Computacionales, TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), Ecatepec, Edo. de Mex., México.

<sup>3</sup> Procesos, Ing. Química, TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), Ecatepec, Edo. de Mex., México.

<sup>4</sup> Área de Cómputo, Centro Tecnológico Aragón, UNAM/ FES Aragón, Nezahualcóyotl, Edo. de Mex., México.

\* Autor de correspondencia: [ldelgadillo@tese.edu.mx](mailto:ldelgadillo@tese.edu.mx)

### Energías Renovables (Energía Solar)

Recibido: 8 de julio de 2026

Aceptado: 1 de septiembre de 2026

Publicado: 18 de septiembre de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.731>

**Resumen:** La deshidratación solar representa una alternativa sustentable para la conservación de alimentos mediante el aprovechamiento de energía renovable y la reducción del contenido de humedad presente en productos agrícolas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar experimentalmente el proceso de deshidratación solar de frutas utilizando un prototipo de convección natural construido con materiales recuperados provenientes de remanentes industriales, principalmente policarbonato y acero inoxidable. Como material de estudio se emplearon rodajas de manzana, naranja, mandarina y sandía, realizando cuatro repeticiones experimentales por fruta y utilizando seis muestras por repetición, obteniéndose un total de 96 rodajas evaluadas. Durante el proceso experimental se determinaron parámetros asociados al comportamiento del secado, incluyendo masa inicial, masa final, agua eliminada, porcentaje de pérdida de humedad y velocidad promedio de secado. Los resultados mostraron porcentajes de pérdida de humedad entre 38 y 72 %, registrándose los valores más altos en las muestras de sandía. Asimismo, las velocidades promedio de secado variaron entre 0.82 y 1.70 g/día. El balance energético permitió estimar una energía requerida de 62.08 kJ para la evaporación del agua eliminada, mientras que la eficiencia térmica estimada del sistema fue de 0.24 %. La evaluación experimental confirmó el funcionamiento del deshidratador solar construido con materiales recuperados, al favorecer la reducción gradual de humedad en las frutas mediante el aprovechamiento de la energía solar bajo las condiciones estudiadas.

**Palabras clave:** deshidratación solar, secado de frutas, eficiencia térmica, materiales recuperados

## Evaluation of a Solar Fruit Dehydrator Constructed from Recovered Materials and Operated by Natural Convection

**Abstract:** Solar dehydration represents a sustainable alternative for food preservation through the use of renewable energy and the reduction of moisture content in agricultural products. The objective of this study was to experimentally evaluate the solar dehydration process of fruits using a natural-convection prototype constructed from recovered industrial remnants, mainly polycarbonate and stainless steel. Apple, orange, mandarin, and watermelon slices were used as study materials, with four experimental replicates per fruit and six samples per replicate, resulting in a total of 96 slices evaluated. During the experimental process, parameters associated with drying behavior were determined, including initial mass, final mass, water removed, percentage moisture loss, and average drying rate. The results showed moisture loss percentages ranging from 38 to 72%, with the highest values recorded for watermelon samples. Average drying rates ranged from 0.82 to 1.70 g/day. The energy balance yielded an estimated energy requirement of 62.08 kJ for the evaporation of the water removed, while the estimated thermal efficiency of the system was 0.24%. The experimental evaluation confirmed the operation of the solar dehydrator constructed from recovered materials, as it promoted the gradual reduction of moisture in the fruits through the use of solar energy under the experimental conditions studied.

**Keywords:** solar dehydration, fruit drying, thermal efficiency, recovered materials

### Introducción

La deshidratación solar es un proceso de conservación de alimentos basado en la remoción parcial de humedad mediante el aprovechamiento de la energía proveniente de la radiación solar. Durante el proceso de secado, el agua contenida en el alimento se evapora debido al incremento de temperatura y a la transferencia simultánea de calor y masa entre el producto y el medio circundante. La disminución del contenido de humedad permite reducir la actividad microbiológica, retardar reacciones de deterioro y prolongar la vida útil de los alimentos deshidratados. En sistemas de

secado solar pasivo, el movimiento del aire ocurre principalmente por convección natural y depende de variables ambientales como radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del aire, las cuales influyen directamente en la cinética de secado y en el desempeño térmico del sistema (Janjai & Bala, 2012; Kumar *et al.*, 2016; Tlatelpa *et al.*, 2024; Henriques *et al.*, 2025).

### *Pérdida de humedad*

La pérdida de humedad representa la cantidad de agua removida de las muestras durante el proceso de deshidratación y constituye uno de los principales indicadores para evaluar el comportamiento del secado. En el presente estudio, este parámetro fue estimado mediante un procedimiento gravimétrico a partir de la diferencia entre la masa inicial y final de las muestras, considerando que la disminución de masa registrada durante el proceso correspondió principalmente al agua eliminada (Onwude *et al.*, 2016). La cantidad de agua eliminada ( $A_E$ ) se calculó mediante la Ecuación 1:

$$A_E = m_i - m_f \quad (1)$$

donde  $A_E$  es el agua eliminada (g),  $m_i$  masa inicial de la muestra (g) y  $m_f$  la masa de la muestra (g). A partir de la cantidad de agua eliminada, el porcentaje de pérdida de humedad (%PH) se determinó mediante la Ecuación (2) (Doymaz, 2017; Hernández *et al.*, 2017; Ruelas *et al.*, 2013):

$$\%PH = \left[ \frac{m_i - m_f}{m_i} \right] 100 \quad (2)$$

donde %PH corresponde al porcentaje estimado de pérdida de humedad respecto a la masa inicial de la muestra. Este parámetro permite comparar el comportamiento del proceso de secado entre diferentes muestras, independientemente de su masa inicial, y es ampliamente utilizado para evaluar el desempeño de sistemas de deshidratación solar.

### *Velocidad de secado*

La velocidad de secado es un parámetro empleado para estimar la rapidez con la que ocurre la eliminación de humedad durante el proceso de deshidratación. En sistemas de secado solar depende de variables como la temperatura de operación, la radiación solar disponible, el contenido inicial de humedad, el espesor de la muestra y el tiempo de exposición, factores que determinan la intensidad de la transferencia simultánea de calor y masa (Hernández *et al.*, 2017; Tlatelpa *et al.*, 2024). La velocidad promedio de secado ( $v$ ) se calculó mediante la Ecuación 3:

$$v = \frac{A_E}{t} \quad (3)$$

donde  $v$  es la velocidad promedio de secado (g/día) y  $t$  el tiempo de secado (días).

Este parámetro permite comparar el comportamiento de diferentes productos agrícolas y evaluar el efecto de las condiciones de operación sobre la rapidez del proceso de deshidratación.

### *Balance energético del proceso de secado*

El balance energético constituye una herramienta para estimar la energía requerida durante el proceso de deshidratación solar, ya que relaciona la cantidad de agua evaporada con la energía necesaria para producir el cambio de fase del agua. Este análisis permite evaluar el requerimiento energético mínimo del proceso y constituye un indicador del desempeño térmico del sistema (Rulazi *et al.*, 2023; Hssaini *et al.*, 2021; Çengel & Ghajar, 2020).

La energía requerida ( $Q$ ) para evaporar el agua eliminada se calculó mediante la Ecuación 4:

$$Q = A_E \lambda \quad (4)$$

donde  $\lambda$  representa el calor latente de vaporización del agua (kJ/kg).

La estimación de este parámetro permite cuantificar la energía mínima necesaria para el proceso de evaporación y constituye la base para el cálculo de la eficiencia térmica del deshidratador.

### Eficiencia térmica del deshidratador solar

La eficiencia térmica es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar el aprovechamiento energético de los sistemas de secado solar. Este parámetro expresa la relación entre la energía empleada para evaporar el agua contenida en el alimento y la energía solar total incidente sobre el área de captación del deshidratador (Janjai & Bala, 2012; Ndukwu *et al.*, 2018; Radhakrishnan *et al.*, 2024).

La eficiencia térmica ( $\eta$ ) se determinó mediante la Ecuación 5:

$$\eta = \left[ \frac{Q}{E_{solar}} \right] 100 \quad (5)$$

En la cual  $\eta$  es la eficiencia térmica (%),  $Q$  la energía útil empleada para evaporar agua (kJ),  $E_{solar}$  la energía solar incidente (kJ).

La energía solar incidente se estimó mediante la Ecuación 6:

$$E_{solar} = (I)(A)(t) \quad (6)$$

donde,  $I$  es la irradiancia solar promedio ( $W/m^2$ ),  $A$  área de captación solar ( $m^2$ ) y  $t$  tiempo efectivo de exposición solar (s) (Intawee & Janjai, 2011; Janjai & Bala, 2012; Kumar *et al.*, 2016; Niroka *et al.*, 2022). Para la estimación de la energía solar incidente se adoptó una irradiancia solar promedio de  $600 W/m^2$ , considerada como un valor de referencia para el análisis energético de sistemas de secado solar bajo condiciones de operación similares (Fudholi *et al.*, 2015). Este valor se utilizó exclusivamente para la estimación energética del sistema.

La eficiencia térmica permite evaluar el grado de aprovechamiento de la energía solar disponible y comparar el desempeño de diferentes configuraciones de deshidratadores solares bajo distintas condiciones de operación.

### Materiales y Métodos

La evaluación experimental se realizó utilizando un deshidratador solar de convección natural con dimensiones aproximadas de 60 cm de ancho, 50 cm de profundidad y 56 cm de altura. Para su construcción se emplearon policarbonato, acero inoxidable, malla metálica, perfil angular y soleras metálicas recuperados de remanentes industriales, mientras que las bisagras, jaladera metálica y patas niveladoras necesarios para el ensamble fueron adquiridos como componentes nuevos. El prototipo contó con un área efectiva de captación solar de  $0.30 m^2$  y dos bandejas de malla metálica para la distribución de las muestras. La circulación del aire se realizó exclusivamente por convección natural, sin sistemas auxiliares de ventilación. Durante las pruebas, el prototipo se colocó sobre una superficie horizontal, sin inclinación y con exposición directa a la radiación solar, sin establecer una orientación cardinal específica. La Figura 1 muestra el diseño desarrollado en AutoCAD, la vista externa del prototipo construido y la disposición interna de las bandejas utilizadas durante las pruebas experimentales.

Como material de estudio se emplearon rodajas de manzana (AP), naranja (OR), mandarina (MA) y sandía (WA). Las frutas fueron seleccionadas considerando sus diferentes características y la posible variación en su contenido inicial de humedad, permitiendo comparar la pérdida de humedad y la velocidad de secado de cada una durante el proceso de deshidratación solar. Para cada fruta se realizaron cuatro repeticiones experimentales y en cada repetición se utilizaron seis rodajas, obteniéndose un total de 24 rodajas por fruta y 96 rodajas evaluadas durante el estudio. Los cuatro registros presentados para cada fruta en la Tabla 1 corresponden a los valores promedio obtenidos de las seis rodajas evaluadas en cada una de las cuatro repeticiones experimentales. Las muestras fueron cortadas manualmente con un espesor aproximado de 5 mm, con la finalidad de mantener condiciones geométricas similares y favorecer una transferencia de calor y masa homogénea entre las muestras. Posteriormente, fueron distribuidas uniformemente sobre las bandejas del deshidratador. Las pruebas experimentales se realizaron durante abril de 2026 en Ecatepec de Morelos, Estado de México, y las muestras fueron expuestas a condiciones ambientales naturales durante cinco días consecutivos, considerando únicamente un periodo efectivo de exposición solar de aproximadamente ocho horas diarias, comprendido entre las 09:00 y las 17:00 h. Durante los periodos sin irradiación solar, las muestras permanecieron en el interior del deshidratador y el equipo se mantuvo en un lugar fresco hasta el siguiente periodo de exposición solar. Este procedimiento se mantuvo durante los cinco días del ensayo.

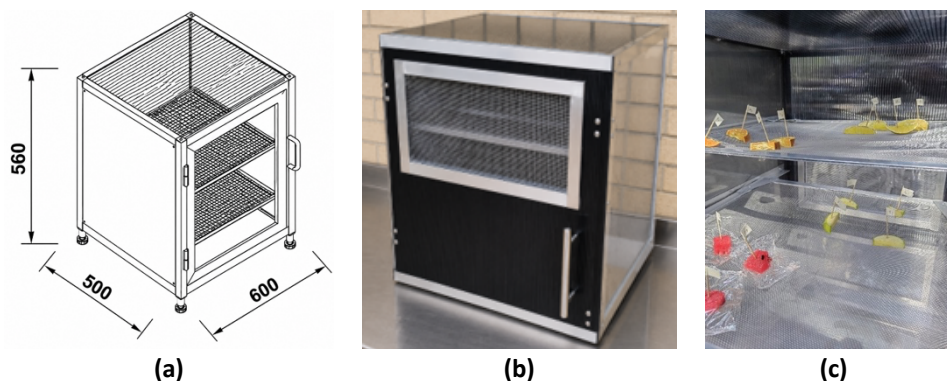


Figura 1. Deshidratador solar: (a) diseño, (b) vista externa y (c) vista interna.

Durante las pruebas, la temperatura ambiente fue de 26.0 °C al inicio y de 28.5 °C al término del periodo experimental, mientras que la temperatura promedio en el interior del deshidratador fue de 34.6 °C. El seguimiento del proceso incluyó el registro de la temperatura y de la variación de masa de las muestras, empleando para la medición de masa una balanza digital con una precisión de  $\pm 0.01$  g.

El deshidratador operó con circulación natural del aire, sin asistencia mecánica. Para el análisis energético se consideró una irradiancia solar promedio de 600 W/m<sup>2</sup> como valor de referencia, debido a que la radiación solar incidente no fue medida directamente durante los ensayos; por esta razón, la eficiencia térmica se determinó de manera estimativa a partir de dicho valor de irradiancia.

Para el análisis estadístico, los resultados del porcentaje de pérdida de humedad se expresaron mediante la media y la desviación estándar de las cuatro repeticiones experimentales. Las diferencias entre las frutas evaluadas se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, considerando un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

El procedimiento experimental seguido durante la validación del prototipo se resume en la Figura 2.

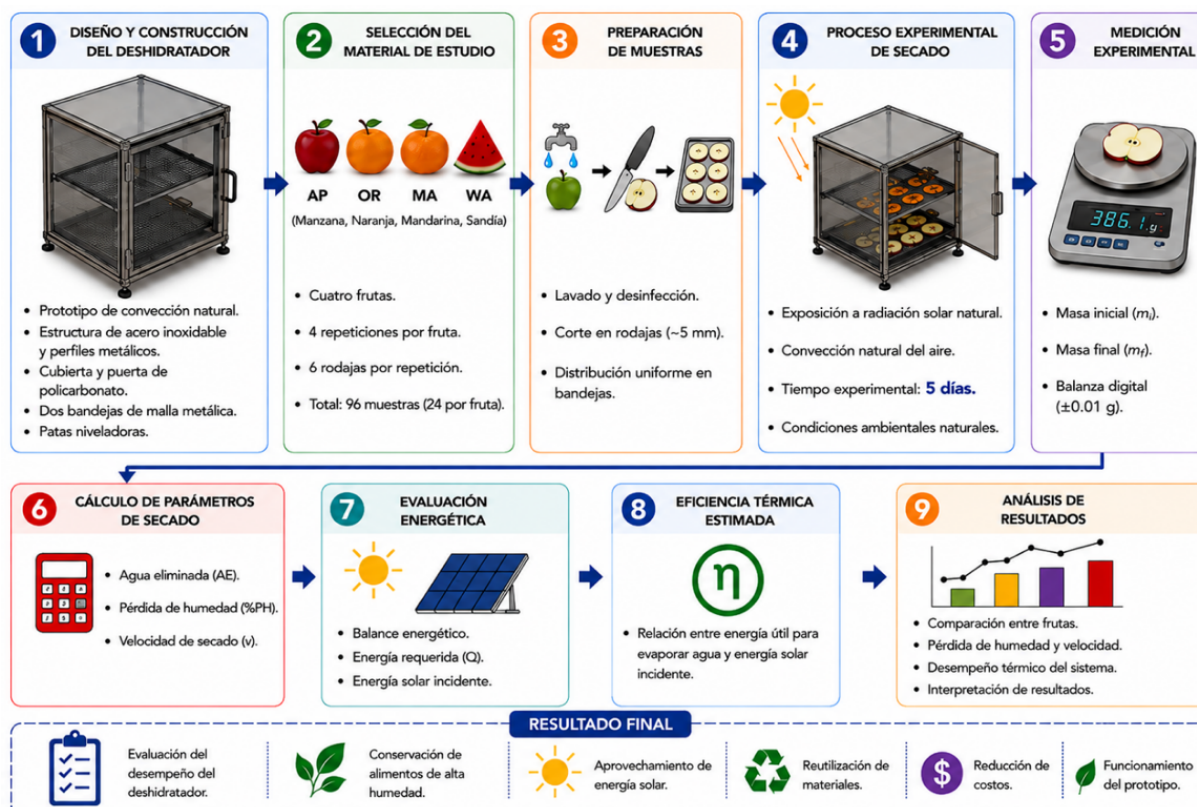


Figura 2. Metodología (elaboración propia con apoyo de herramientas de Inteligencia Artificial).

## Resultados y Discusión

Durante la validación funcional del prototipo, la temperatura promedio registrada en el interior del deshidratador fue superior a la temperatura ambiente inicial ( $\Delta T = 8.6^\circ\text{C}$ ), condición que favoreció la evaporación gradual de la humedad contenida en las muestras mediante el aprovechamiento de la radiación solar y la circulación natural del aire. Este comportamiento se reflejó en la disminución de la masa de las frutas durante el periodo experimental. A partir de los registros de masa inicial ( $m_i$ ) y masa final ( $m_f$ ) se determinaron el agua eliminada ( $A_E$ ), el porcentaje de pérdida de humedad (%PH) y la velocidad promedio de secado, parámetros que posteriormente se utilizaron para realizar el balance energético y estimar la eficiencia térmica del sistema. De esta manera, el análisis permitió evaluar el comportamiento del proceso de deshidratación desde el punto de vista de la transferencia de masa y del aprovechamiento de la energía solar. Los valores experimentales de  $m_i$ ,  $m_f$ ,  $A_E$  y %PH obtenidos para cada fruta se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Pérdida de humedad durante el proceso de deshidratación solar

| Fruta | Muestra    | $m_i$ (g) | $m_f$ (g) | $A_E$ (g) | %PH  | Fruta | Muestra    | $m_i$ (g) | $m_f$ (g) | $A_E$ (g) | %PH  |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|------|
| AP    | 1          | 0.83      | 0.33      | 0.50      | 60.0 | MA    | 1          | 1.40      | 0.84      | 0.56      | 40.0 |
|       | 2          | 1.62      | 0.58      | 1.04      | 64.0 |       | 2          | 2.80      | 1.60      | 1.20      | 43.0 |
|       | 3          | 1.73      | 0.61      | 1.12      | 65.0 |       | 3          | 3.00      | 1.65      | 1.35      | 45.0 |
|       | 4          | 2.18      | 0.74      | 1.44      | 66.0 |       | 4          | 3.30      | 1.75      | 1.55      | 47.0 |
|       | Media (AP) | 1.59      | 0.57      | 1.03      | 63.8 |       | Media (MA) | 2.63      | 1.46      | 1.17      | 43.8 |
|       | DE (AP)    | 0.56      | 0.17      | 0.39      | 2.63 |       | DE (MA)    | 0.84      | 0.42      | 0.43      | 2.99 |
| OR    | 1          | 4.70      | 2.91      | 1.79      | 38.0 | WA    | 1          | 3.90      | 1.36      | 2.54      | 65.0 |
|       | 2          | 5.50      | 3.19      | 2.31      | 42.0 |       | 2          | 3.30      | 1.06      | 2.24      | 68.0 |
|       | 3          | 6.40      | 3.52      | 2.88      | 45.0 |       | 3          | 2.20      | 0.66      | 1.54      | 70.0 |
|       | 4          | 3.00      | 1.80      | 1.20      | 40.0 |       | 4          | 3.00      | 0.84      | 2.16      | 72.0 |
|       | Media (OR) | 4.90      | 2.86      | 2.05      | 41.3 |       | Media (WA) | 3.10      | 0.98      | 2.12      | 68.8 |
|       | DE (OR)    | 1.44      | 0.75      | 0.72      | 2.99 |       | DE (WA)    | 0.71      | 0.30      | 0.42      | 2.99 |

Las muestras de manzana registraron pérdidas de humedad entre 60 y 66 %, con una media de 63.8 % (DE = 2.63). La naranja presentó valores entre 38 y 45 %, con una media de 41.3 % (DE = 2.99), mientras que la mandarina mostró pérdidas entre 40 y 47 %, con una media de 43.8 % (DE = 2.99). Por su parte, la sandía alcanzó los mayores porcentajes de pérdida de humedad, con valores comprendidos entre 65 y 72 %, y una media de 68.8 % (DE = 2.99).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la pérdida de humedad entre las frutas evaluadas (ANOVA de una vía,  $F(3,12) = 91.83$ ;  $p < 0.001$ ). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey indicó que no existieron diferencias significativas entre manzana y sandía ( $p = 0.122$ ), ni entre naranja y mandarina ( $p = 0.627$ ). En contraste, se identificaron diferencias significativas entre manzana y naranja, manzana y mandarina, sandía y naranja, y sandía y mandarina ( $p < 0.001$ ). Estos resultados muestran un comportamiento similar entre la manzana y la sandía, que presentaron las mayores pérdidas de humedad, así como entre la naranja y la mandarina, cuyos valores fueron menores.

El comportamiento registrado podría estar asociado con las características propias de cada fruta y con posibles diferencias en su contenido inicial de agua, factores que pueden influir en la cantidad de humedad eliminada durante el proceso de secado. Doymaz (2017) y Tlatelpa *et al.* (2024) señalan que el contenido inicial de humedad es uno de los factores que intervienen en la cinética de secado. La Tabla 2 presenta la masa inicial total ( $m_{iT}$ ), masa final total ( $m_{fT}$ ), agua eliminada total ( $A_{ET}$ ) y la velocidad promedio de secado ( $u$ ) obtenida para cada fruta.

Tabla 2. Agua eliminada total y velocidad promedio de secado

| Fruta | $m_{iT}$ (g) | $m_{fT}$ (g) | $A_{ET}$ (g) | t (días) | u (g/día) |
|-------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------|
| AP    | 6.36         | 2.26         | 4.10         | 5        | 0.82      |
| OR    | 19.60        | 11.42        | 8.18         | 5        | 1.64      |
| MA    | 10.50        | 5.84         | 4.66         | 5        | 0.93      |
| WA    | 12.40        | 3.92         | 8.48         | 5        | 1.70      |

Las velocidades promedio de secado variaron entre 0.82 y 1.70 g/día, correspondiendo el menor valor a la manzana (AP) y el mayor a la sandía (WA). Este comportamiento coincide con las diferencias observadas en el porcentaje de pérdida de humedad entre las frutas evaluadas. Resultados similares han sido reportados por Henriques *et al.* (2025), quienes señalan que la velocidad de secado depende de las características de las muestras y de las condiciones de operación del proceso de deshidratación. La velocidad promedio de secado expresada en g/día se utilizó como un indicador descriptivo del agua eliminada durante el periodo experimental. Debido a que este parámetro depende de la masa inicial de las muestras, sus valores deben interpretarse considerando las diferencias de masa entre las frutas evaluadas y no como una medida normalizada de la cinética de secado.

El balance energético permitió estimar una energía requerida de 62.08 kJ para evaporar el agua eliminada durante el proceso experimental. Este valor representa la energía mínima necesaria para el cambio de fase del agua y constituye un indicador del requerimiento energético asociado al funcionamiento del prototipo. Asimismo, a partir de la irradiancia solar promedio, el área efectiva de captación y el tiempo de exposición durante el proceso de secado, se estimó una eficiencia térmica de 0.24 %. Este valor es comparable con el reportado por Unar *et al.* (2025), quienes obtuvieron una eficiencia térmica de 0.24 % para un deshidratador solar operado mediante convección natural. Esta coincidencia permite situar el desempeño energético del prototipo dentro de valores reportados para sistemas que operan bajo el mismo mecanismo de circulación natural del aire, considerando que la eficiencia térmica puede variar en función de las características constructivas y de las condiciones de operación. Los parámetros empleados para estimar la eficiencia térmica del sistema se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Balance energético básico del proceso de secado solar y eficiencia térmica estimada del sistema de deshidratación solar

|                           | Parámetro                                      | Valor                |
|---------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Balance energético</b> | Agua eliminada ( $A_E$ )                       | 0.0254 kg            |
|                           | Calor latente de vaporización ( $\lambda$ )    | 2442 kJ/kg           |
|                           | Energía requerida ( $Q$ )                      | 62.08 kJ             |
| <b>Eficiencia térmica</b> | Irradiancia solar promedio                     | 600 W/m <sup>2</sup> |
|                           | Área de captación                              | 0.30 m <sup>2</sup>  |
|                           | Tiempo experimental                            | 5 días               |
|                           | Tiempo efectivo de exposición solar            | 8 h por día          |
|                           | Energía solar incidente ( $E_{\text{solar}}$ ) | 25920 kJ             |
|                           | Energía útil ( $Q$ )                           | 62.08 kJ             |
|                           | Eficiencia térmica estimada ( $\eta$ )         | 0.24 %               |

La eficiencia térmica estimada refleja el aprovechamiento de la energía solar por el prototipo bajo las condiciones de operación consideradas. El desempeño térmico de los sistemas de secado solar se encuentra condicionado por diversos factores; Janjai y Bala (2012) señalan la influencia de la radiación solar incidente, el diseño del colector, las pérdidas de calor hacia el ambiente y la circulación natural del aire. De manera similar, Radhakrishnan *et al.* (2024) indican que la eficiencia térmica puede variar considerablemente en función de las condiciones climáticas y de las características constructivas del sistema.

En conjunto, los resultados obtenidos permitieron comprobar la viabilidad funcional del deshidratador solar para producir la reducción de humedad en las frutas evaluadas mediante el aprovechamiento de energía solar. El comportamiento observado muestra que el prototipo puede emplearse en aplicaciones académicas y experimentales relacionadas con el estudio de procesos de transferencia de calor y masa en sistemas de secado solar.

## Conclusiones

La evaluación experimental permitió comprobar el funcionamiento del deshidratador solar de convección natural bajo condiciones ambientales naturales. Los resultados obtenidos mostraron una reducción gradual de la masa de las muestras asociada a la pérdida de humedad durante el proceso de secado, mediante el aprovechamiento de la energía solar y la circulación natural del aire.

La pérdida de humedad presentó diferencias entre las frutas evaluadas. La sandía registró la mayor pérdida promedio de humedad (68.8 %), seguida de la manzana (63.8 %), mientras que la mandarina (43.8 %) y la naranja (41.3 %) presentaron valores menores. El análisis estadístico confirmó diferencias significativas entre las frutas evaluadas, identificándose un comportamiento similar entre manzana y sandía, así como entre naranja y mandarina. Este comportamiento podría estar relacionado con las características propias de cada fruta y con posibles diferencias en su contenido inicial de agua.

El análisis energético permitió estimar una eficiencia térmica de 0.24 % para el prototipo de convección natural. A partir de este resultado, futuras modificaciones en el diseño podrían orientarse a incrementar el desempeño térmico del sistema, principalmente mediante mejoras en la captación de la radiación solar y la reducción de las pérdidas de calor. Asimismo, el empleo de materiales recuperados provenientes de remanentes industriales muestra la posibilidad de desarrollar prototipos funcionales con criterios de sustentabilidad, al reincorporar materiales disponibles en la construcción de un sistema destinado al aprovechamiento de una fuente renovable de energía. Este enfoque constituye una característica relevante del prototipo desarrollado y complementa los resultados obtenidos durante su evaluación experimental.

No obstante, el alcance del estudio se centró en la evaluación experimental del proceso y en la estimación del comportamiento energético del prototipo. No se evaluaron parámetros relacionados con la calidad alimentaria e inocuidad del producto deshidratado, como actividad de agua, color, textura o vida útil; por lo tanto, los resultados obtenidos no permiten establecer conclusiones respecto a la calidad, seguridad o conservación de los productos después del proceso de secado. La incorporación de estas variables en estudios posteriores permitirá ampliar la evaluación del prototipo y determinar las características del producto deshidratado.

## Bibliografía

- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Doymaz, İ. (2017). Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 53(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1791-8>
- Fudholi, A., Sopian, K., Alghoul, M. A., Ruslan, M. H., & Othman, M. Y. (2015). Performances and improvement potential of solar drying system for palm oil fronds. *Renewable Energy*, 78, 561–565. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.050>
- Henriques, B. R., Moumni, M. B., Romanazzi, G., Le Bourvellec, C., Cardoso, S. M., & Wessel, D. E. (2025). A comparative study of traditional sun drying and hybrid solar drying on quality, safety, and bioactive compounds in “Pingo de Mel” fig. *Antioxidants*, 14(3), 362. <https://doi.org/10.3390/antiox14030362>
- Hernández, G. V., Olvera, G. O., Guzmán, T. P., & Morillón, G. D. (2017). Secado de frutas y verduras con energía solar. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(11), 22–33.
- Hssaini, L., Ouaabou, R., Hanine, H., Razouk, R., & Idlimam, A. (2021). Kinetics, energy efficiency and mathematical modeling of thin layer solar drying of figs (*Ficus carica* L.). *Scientific Reports*, 11, 21266. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00690-z>
- Intawee, P., & Janjai, S. (2011). Performance evaluation of a large-scale polyethylene covered greenhouse solar dryer. *International Energy Journal*, 12, 39–52.
- Janjai, S., & Bala, B. K. (2012). Solar drying technology. *Food Engineering Reviews*, 4(1), 16–54. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9044-6>
- Kumar, M., Sansaniwal, S. K., & Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
- Ndukwu, M. C., Bennamoun, L., & Abam, F. I. (2018). Experience of solar drying in Africa: Presentation of designs, operations and models. *Food Engineering Reviews*, 10(4), 211–244.
- Niroka, P., Panprayun, G., & Peerakiatkhajohn, P. (2022). Performance of a solar greenhouse dryer for water hyacinth. *Renewable Energy Research and Innovation Center Journal*, 22, 167–179.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599–618. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Radhakrishnan, G., Breaz, T. O., Ahmed, A. W., Al Zakwani, N. A., Al Fahdi, M. H., Al Shuraiqi, A. S., Al Awamri, S. A., Al Aamri, R. S., & Karthikeyan, K. (2024). A comparative management analysis on the performance of greenhouse solar dryers. *Sustainability*, 16(2), 775.
- Ruelas, X., Reyes, M. de la L., Valdivia, B., Contreras, J. C., Montañez, J. C., Aguilera, A. F., & Peralta, R. D. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Acta Química Mexicana*, 5(9).
- Rulazi, E. L., Marwa, J., Kichonge, B., & Jivevele, T. (2023). Development and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with thermal energy storage system for drying of agricultural products. *ACS Omega*, 8, 3853–3876.
- Tlatelpa, B. A., Martínez, R. G., Carbajal, G. R., Navarrete, M., Zezatti, V. M., Castañeda, R. O., Portillo, S., Aviles, S. I., & López, E. C. (2024). Secado cinético de semillas de *Leucaena esculenta* usando un secador solar. *Energies*, 17(24), 6364. <https://doi.org/10.3390/en17246364>
- Unar, S. G., Khatri, S. A., Mirjat, N. H., Arain, M. F., Zaidi, S. R. A., & Kumar, L. (2025). Evaluating drying efficiency and energy performance of a hybrid solar dryer with natural, forced, and hybrid convection modes for tomatoes. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 23(2), 479–505. <https://doi.org/10.32604/fhmt.2025.063937>