



La ciencia detrás del secado solar

Autores:

- **Mtr.Carlos Castañeda Zuluaga¹**
- **Dra.Yuridiana Rocío Galindo Luna¹**
- **Dr.Fernando Gabriel Arroyo Cabañas²**

¹ UAM Iztapalapa

² UACM-San Lorenzo Tezonco

Abstract

Solar drying is a food preservation technique that has become technologically advanced and evolved as a sustainable alternative to electric or fossil fuel methods. Indirect solar drying systems allow food to be dehydrated using air heated by solar radiation, reducing postharvest losses and contamination risks. These devices, affordable for small producers, combine heat and mass transfer processes to ensure a final moisture content of less than 10%, extending food shelf life. Their implementation contributes to reducing waste and associated greenhouse gas emissions.

Index words: solar drying, sustainability and ecotechnologies

Resumen

El secado solar es una técnica de conservación alimenticia, se ha tecnificado y evolucionado tecnológicamente como alternativa sostenible frente a métodos eléctricos o de combustibles fósiles. Los sistemas de secado solar indirecto permiten deshidratar alimentos mediante aire calentado por radiación solar, reduciendo pérdidas postcosecha y riesgos de contaminación. Estos equipos, son accesibles para pequeños productores, combinan fenómenos de transferencia de calor y masa que aseguran un contenido final de humedad menor al 10%, extendiendo la vida útil de los alimentos. Su implementación contribuye a disminuir desperdicios y emisiones asociadas a los gases de efecto invernadero.

Palabras clave: secado solar, sostenibilidad y ecotecnologías.

Introducción

La conservación de los alimentos con el sol es una técnica implementada desde hace miles de años, la humanidad ha conservado sus alimentos mediante el deshidratado, sus primeros indicios del uso del sol se encuentran en el secado de carne y granos en culturas antiguas, pero el secado tecnificado se encuentra en la primera instalación de secado mediante energía solar en el sur de Francia y data de alrededor del año 8000 a. C. (Belessiotis y Delyannis, 2011). Posteriormente el secado evoluciona a una práctica artesanal y científica para obtener diferentes texturas y sabores que proporcionaban en la gastronomía una rica gama de essencias. Existen indicios que las culturas de medio oriente, utilizaban el sol para secar alimentos ya en el año 12 000 a.C. generando a futuro un gran mercado de mercado de especias (Ungvarsky, 2024). Las técnicas de secado a sol abierto, siguen siendo utilizadas hoy día, sin embargo, en las zonas dentro y cerca de las grandes urbes debido a la contaminación ambiental, inclemencias climáticas y seres vivos que puedan afectar los alimentos expuestos, estas prácticas pueden resultar en pérdidas o contaminación alimenticia (Schmutz *et al.*, 2023). Dentro de las soluciones actuales se han sustituido el secado convencional al sol, con tecnologías de deshidratación que usen electricidad o combustibles, con costos altos de infraestructura y uso que los hacen inaccesibles para los pequeños y medianos productores en zonas urbanas y rurales. El secado solar indirecto, es otra de las soluciones para llevar a cabo el proceso de deshidratado, siendo más económicas que las tecnologías semiindustriales e industriales. Esta forma de procesar los alimentos requiere de depósitos o estructuras, que permiten la transmisión de la radiación solar

sobre el alimento o que utilicen la radiación solar para calentar un flujo de aire controlado, extrayéndolo con ventiladores o de manera pasiva al moverse por su cambio de densidad. Las ecotecnologías de aprovechamiento solar son herramientas que solucionan esta problemática, se calcula que las pérdidas postcosecha en México son de alrededor de 25% en promedio (Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real, 2022)., mundialmente los desperdicios alimenticios vegetales representan entre el 8% y el 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2024).

Es por ello que es importante diseñar y fabricar dispositivos que puedan solucionar esta problemática que

afecta principalmente a productores con poco acceso a tecnologías de conservación y con falta de movilidad de sus productos, proporcionando una forma de revalorización de los alimentos generando opciones para su aprovechamiento.

¿Cómo funciona el secado solar indirecto?

Cuando se utiliza un prototipo de secado, como el que se muestra en la Figura 1, tanto en este prototipo como en los tipos indirectos, o estructuras más complejas, los alimentos se cortan en trozo o en rodajas, para evitar que la epidermis (barrera natural del alimento) evite la deshidratación de la fruta, debido a que esta funciona como barrera natural para la transpiración del fruto.



Figura 1: Prototipo de deshidratador solar.

Al cortarse en rodajas se expone el interior del fruto, dentro de ella se tiene un contenido de fibra que encapsula agua de dos tipos: 1) libre (agua ligeramente asociada con la fibra) y 2) agua ligada (agua ligada a otras moléculas y componentes del fruto), formando un material poroso se ejemplifica en la Figura 2.

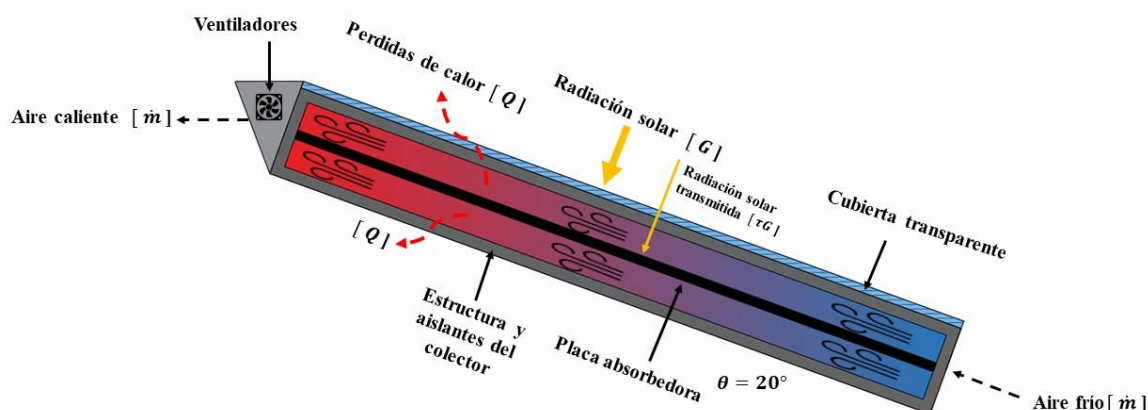


Figura 2: Funcionamiento del colector solar.

Dentro del prototipo ocurren varios fenómenos de transferencia de calor y masa. En primera instancia tenemos el colector solar, equipo que permite la entrada de la radiación que incide en la superficie de una placa absorbente, elevando su temperatura y cediendo calor al aire circundante dentro del colector, calentándolo gracias al efecto invernadero. El aire se mueve de manera pasiva por el cambio de densidad o mediante ventiladores que ayudan a mejorar la transferencia de calor. Las interacciones energéticas se observan en la Figura 3.

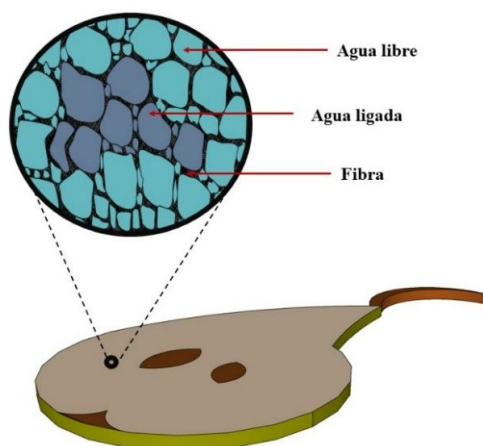


Figura 3: Porosidad de las frutas.

El balance de energía de un colector se describe de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} & [\text{Energía incidente en la placa}] \\ & + [\text{trabajo de los ventiladores}] \\ & = [\text{calor útil del aire}] \\ & + [\text{pérdidas de calor globales}] \end{aligned}$$

O de la forma matemática.

$$\tau_{\text{vidrio}} \alpha_{\text{placa}} A_{\text{placa}} G + P_V = \dot{Q}_{\text{util}} + \dot{Q}_{p,\text{globales}} \quad (1)$$

La masa se conserva, por lo tanto:

$$\dot{m}_{\text{salida}} = \dot{m}_{\text{entrada}} \quad (2)$$

a la cámara de secado, y forzado por otro ventilador colocada en la parte superior, el aire recorre la cámara de secado, reptando por los alimentos, transmitiendo calor, generando un cambio de fase en la humedad superficial del alimento. Esta parte del equipo recibe en su parte frontal una fracción de la radiación que ayuda al secado, compensando las pérdidas de calor por paredes, además existe una caída natural de temperatura gracias a la vaporización del agua de los alimentos, el funcionamiento de la cámara de secado y sus interacciones energéticas se visualizan en la Figura 4.

Posteriormente el aire caliente entra

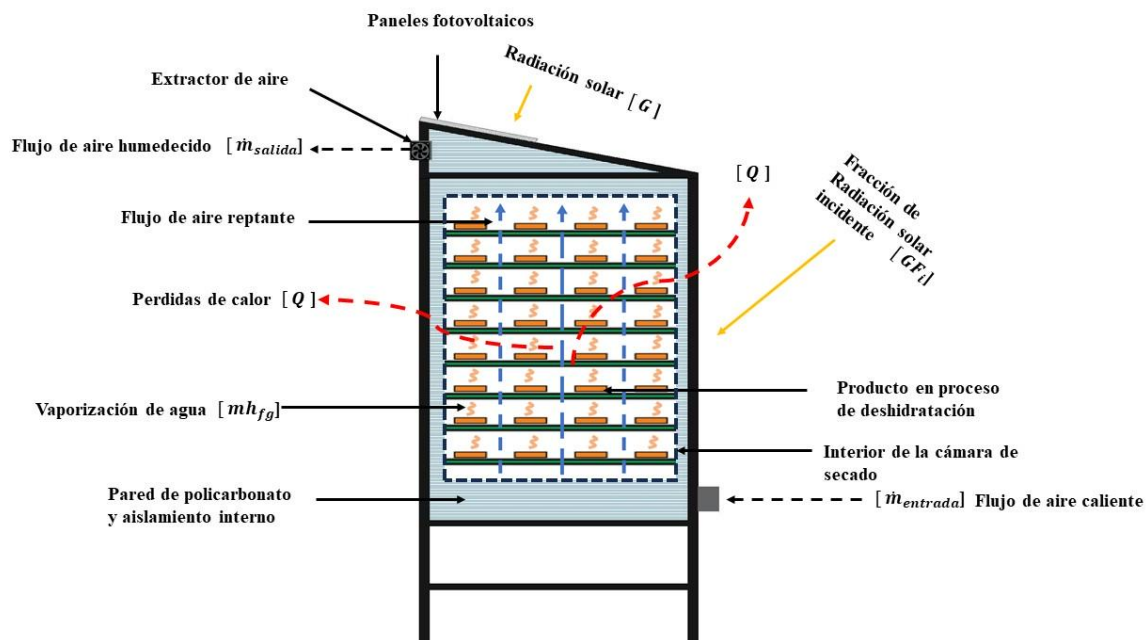


Figura 4: Funcionamiento de la cámara de secado

El balance energético de la cámara de secado es:

$$\dot{Q}_{\text{incidente}} + P_{\text{extractor}} + \dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{Q}_{\text{perdidas}} + \dot{Q}_{\text{vaporización}} + \dot{Q}_{\text{salida}} \quad (3)$$

El balance de masa de la cámara de secado es:

$$\dot{m}_{\text{salida}} = \dot{m}_{\text{entrada}} + \dot{m}_{\text{vapor}} \quad (4)$$

El proceso de deshidratación se muestra en la Figura 5: a) Inicia con el lavado y desinfección del fruto, b) seguido del corte en rodajas, c) posteriormente, las rodajas de 3 mm se colocan en las charolas con una separación de entre 2 y 3 cm, para luego introducirse en la cámara de secado. Este proceso puede llevarse a cabo en un horario de 9:00 a 18:00 horas, d) finalmente extrayéndose cuando su contenido de humedad este

por debajo del 10%. Dentro del equipo, la fruta experimenta una transferencia de calor, la cual se interpreta mediante la ecuación 5. Esto provoca un fenómeno de cambio de fase del agua superficial y una transferencia de masa asociado de la deshidratación, que se describe con la ecuación 6. Ambas ecuaciones pueden acoplarse para establecer la relación entre la transferencia de calor y la de masa, lo que matemáticamente se expresa en la ecuación 7.

$$\frac{dQ}{dt} = h_c A (T_a - T_s) \quad (5)$$

$$\frac{dD}{dt} = -k_m A (H_a - H_s) \quad (6)$$

$$\frac{dD}{dt} = \frac{h_c A (T_a - T_s)}{h_{fg}} \quad (7)$$

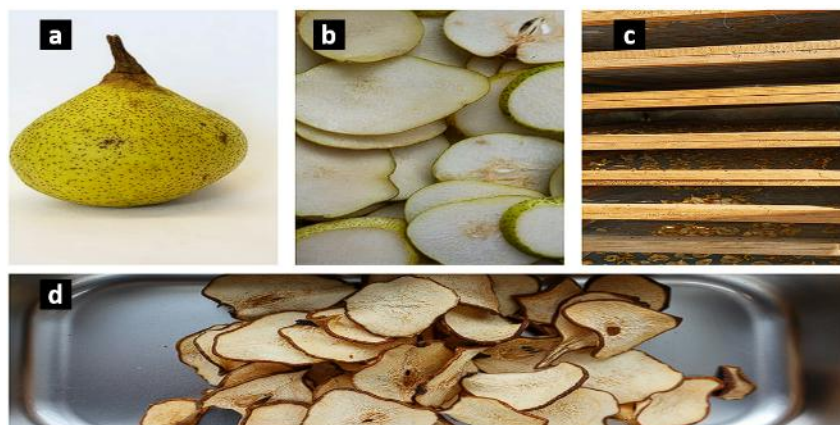


Figura 5: Proceso de deshidratación.

Los fenómenos de transporte se visualizan en la Figura 6, donde se ilustra donde se ilustra el flujo reptante de aire caliente, la difusión causada en el fruto y el posterior arrastre de la humedad en el flujo. El fruto al perder

concentración de masa en su superficie, por el fenómeno de difusión el agua interior es obligada a moverse hacia las áreas exteriores.

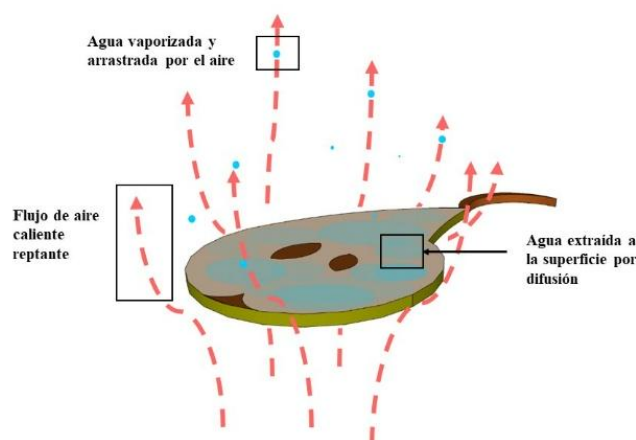


Figura 6: Transferencia de calor y masa en el fruto.

Finalmente, después de un periodo de entre 1-3 días, dependiendo el cargamento del secador, el producto habrá perdido una gran cantidad de agua, un secado de calidad se considera cuando el producto conserva un porcentaje menor a 10% de agua, esto garantiza una actividad de agua menor a 0.45, propiedad de los alimentos

que indica el potencial de crecimiento bacteriano, Se extrae el producto y siguiendo buenas prácticas de higiene, se empaqueta y se sella para evitar una rehidratación (ver Figura 7), obteniendo un producto con la capacidad de conservación en empaque de entre 6 meses hasta 24 meses.



Figura 7: Productos deshidratados empacados.

Referencias

- [1] Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001>
- [2] Ungvarsky, J. (2024). *Solar drying*. EBSCO Research

Starters: Applied Sciences. Recuperado de <https://www.ebsco.com/research-starters/applied-sciences/solar-drying>

- [3] Schmutz, P., Hoyle, E. H., & Hoover, A. (2023, 30 de junio). *Drying foods* (HGIC Fact Sheet No. 3080). Clemson University Cooperative Extension Service.

- <https://hgic.clemson.edu/factsheet/drying-foods/>
- [4] Desarrollo Agropecuario Integral Camino Real. (2022, 26 de septiembre). *La poscosecha y la pérdida de alimentos*. CIMMYT. Recuperado de <https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-poscosecha-y-la-perdida-de-alimentos/>
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024, 27 de marzo). *El mundo desperdicia más de 1.000 millones de platos de comida al día* [Comunicado de prensa]. Recuperado de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-desperdicia-mas-de-1000-millones-de-platos-de>