



## Selección de tecnología apropiada para el secado solar de productos agrícolas

## Seleção de tecnologia apropriada para secagem solar de produtos agrícolas

DOI: 10.55034/smr3n3-017

Recebimento dos originais: 05/05/2022  
Aceitação para publicação: 30/02/2022

### Juan Quintanar Olguin

Magister en Ciencias

Institución: Campo Experimental San Martinito (INIFAP)

Dirección: Km 56.5, Carretera Federal México-Puebla, San Martinito,  
Tlahuapan, Puebla, C.P.74100

Correo electrónico: quintanar.juan@inifap.gob.mx

### Patricia Aguilar Sánchez

Maestra en Ciencias

Institución: Campo Experimental San Martinito (INIFAP)

Dirección: Km, 56.5, Carretera Federal México-Puebla, San Martinito,  
Tlahuapan, Puebla, C.P.74100

Correo electrónico: aguilar.patricia@inifap.gob.mx

### RESUMEN

Para conservar los alimentos de origen agrícola, el secado es la etapa que mayor tiempo y energía consume. La forma tradicional de realizarse es exponiendo el producto a los rayos solares de manera directa. Una alternativa para mejorar este proceso es aprovechar la energía solar mediante secadores solares, donde se han probado diferentes diseños y materiales, evaluando básicamente su eficiencia térmica. En este artículo se propone un marco metodológico con parámetros para seleccionar una tecnología de secado solar apropiada, donde se puedan realizar comparaciones entre secadores independientemente de su ubicación, capacidad o costo de inversión. Se agregan los criterios de costo operativo unitario de secado y de energía incorporada.

**Palabras clave:** deshidratación solar, marco metodológico, costos unitarios, energía incorporada.

### RESUMO

A secagem é a etapa mais demorada e consumidora de energia na conservação de alimentos agrícolas. A maneira tradicional é expor o produto à luz direta do sol. Uma alternativa para melhorar este processo é aproveitar a energia solar por meio de secadores solares, onde diferentes projetos e materiais foram testados, avaliando basicamente sua eficiência térmica. Este artigo propõe uma estrutura metodológica com parâmetros para selecionar uma tecnologia de secagem solar apropriada, onde podem ser feitas comparações entre secadores, independentemente de sua localização, capacidade ou custo de investimento.



Critérios para o custo operacional unitário de secagem e energia incorporada são adicionados.

**Palavras-chave:** desidratação solar, estrutura metodológica, custos unitários, energia encarnada.

## 1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos el ser humano se ha visto en la necesidad de secar alimentos y plantas medicinales, con el fin de conservarlos evitando así pérdidas, que en la actualidad en México llega a un 37%, básicamente de productos agrícolas como guayaba, mango, aguacate, plátano, nopal, arroz y pepino (FAO, 2015); productos que generalmente requieren de temperaturas relativamente bajas para su secado, lo que puede lograrse exponiendo los productos directamente al sol o en instalaciones denominadas tradicionalmente como secadores solares.

Con el objeto principal de reducir costos y de lograr un proceso alternativo al del secado al aire libre con mejores resultados, desde finales de los años 50's se han desarrollado numerosos tipos de secadores en diversas partes del mundo (Kumar *et al.*, 2016). Sin embargo, el diseño de estos secadores se ha fundamentado principalmente en datos empíricos y semiempíricos más que en diseños teóricos; son equipos generalmente de baja capacidad, que se utilizan principalmente para el secado de diversos alimentos de origen agrícola, ya sea para uso familiar o para la comercialización de algunos excedentes (Belessiotis y Delyannis, 2011).

Durante los últimos años, se han desarrollaron varios tipos de secadoras solares para su aplicación en secado de productos agrícolas, los resultados revelan que el proceso de secado es bastante simple, menos costoso y el producto se seca en un ambiente higiénico (Sharma *et al.*, 2018).

El funcionamiento de los secadores solares está basado en el principio invernadero, donde la energía solar es captada para elevar la temperatura del fluido (aire) interno. Son instalaciones que requieren de poco capital y bajos costos de mantenimiento, son de fácil construcción y cualquier material disponible en la zona de construcción puede ser usado, con tendencia de los diseños a la simplicidad, debido a que no existe una diferencia significativa en los resultados obtenidos con los diseños más primitivos respecto de los más



sofisticados. Además, con el desarrollo de materiales de bajo costo y de buen comportamiento en aplicaciones solares, como los plásticos, es factible utilizar la energía solar en el secado de productos agropecuarios, mejorando su calidad y disminuyendo el tiempo empleado en este proceso (Quintanar y Roa, 2017).

Un secador solar bien diseñado puede superar las desventajas del secado solar tradicional y la calidad del producto seco puede mejorarse. El rendimiento del secador solar depende de varios parámetros ambientales, como la radiación solar y la temperatura ambiente (Jambhulkar *et al.*, 2017; Yoo *et al.*, 2017). Así, para seleccionar un secador solar para un producto alimenticio en específico, es necesario evaluar su rendimiento técnico y proporcionar una base para compararlo con otros secadores. También la evaluación debe comprender los requisitos de calidad, las características del producto y los factores económicos. Por lo tanto, este documento presenta algunos parámetros a considerar en la selección de un secador solar para productos agrícolas.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

En la actualidad, existe una gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares que pueden utilizarse para el secado de diversos alimentos de origen agrícola. Por lo tanto, para la selección de la tecnología apropiada, no sólo se debe tener en cuenta la idoneidad para la realización de la función determinada o ser la mejor respuesta a un requisito operativo, sino también deben considerarse criterios que puedan hacer comparativos con otros secadores. De acuerdo a la literatura, en la Tabla 1, se presentan en específico los puntos a considerar en la evaluación y selección de un secador solar (Leon *et al.*, 2002; Kiggundu *et al.*, 2016; Tawari, 2016; Zarezade and Mostafaeipour, 2016; Al-Busoul, 2017).

Tabla 1. Parámetros básicos a evaluar para seleccionar un secador solar.

1	Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo y tamaño.</li> <li>• Área del colector</li> <li>• Capacidad de secado</li> <li>• Área y número de bandejas</li> </ul>
2	Comportamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación solar local.</li> <li>• Tiempo de secado y velocidad de secado</li> <li>• Temperatura y humedad del aire de secado</li> <li>• Velocidad del aire</li> </ul>
3	Propiedades del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características físicas húmedo y seco</li> <li>• Acidez y corrosividad</li> <li>• Tamaño del producto</li> </ul>



4	Características de secado del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de humedad inicial</li> <li>• Contenido de humedad final</li> <li>• Temperatura máxima de secado</li> <li>• Tiempo de secado</li> </ul>
5	Localmente apropiado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asequible</li> <li>• Capacidad local para construir, reparar y mantener                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de operar</li> </ul> </li> <li>• Optimización de los espacios</li> </ul>
6	Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir con los requisitos de inocuidad alimentaria                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibles localmente</li> </ul> </li> <li>• Requerir menos personal calificado</li> <li>• No propenso a la degradación ambiental</li> </ul>
5	Económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo del secador</li> <li>• Costo unitario de secado</li> <li>• Recuperación de la inversión</li> </ul>

Como la mayoría de los casos, la aceptación del secador solar depende en gran medida de la capacidad, la eficiencia, el costo de inversión, el costo operativo de secado y el impacto sobre el medio ambiente (Kabir *et al.*, 2016), tomando en cuenta las variaciones en el diseño, los materiales de construcción, las condiciones de operación, las preferencias del consumidor y las interpretaciones de calidad (Leon *et al.*, 2002).

Por lo tanto, la evaluación y selección de la tecnología de secado solar, debe basarse en un conocimiento sólido del recurso energético y el rendimiento de los diseños del secador durante la vida útil prevista. Un aspecto importante a considerar, es el consumo energético en el proceso de construcción e instalación de la infraestructura, que en términos medioambientales es la energía incorporada, esto es, la energía utilizada para las actividades necesarias antes de la fase operacional, y que abarca desde un pequeño porcentaje hasta aproximadamente la mitad del consumo total de energía durante el ciclo de vida (Krantz *et al.*, 2015).

La eficiencia térmica del secador solar relaciona la energía utilizada para la evaporación de la humedad contenida en los productos agrícolas a una temperatura determinada con la energía total suministrada al secador y se determina utilizando la siguiente ecuación (Abdellatif *et al.*, 2018; Lopez *et al.*, 2020; Jangde *et al.*, 2022).

$$\eta_s = \frac{(W_o - W_t) * L_v}{(Ht * A_c) + P_v}$$



Dónde:

$\eta_s$  = Eficiencia térmica del secador solar.

$W_o$  = Peso del material inicial (kg),

$W_t$  = Peso del material en el tiempo  $t$  (kg),

$L_v$  = Calor latente de vaporización del agua del producto a secar (kJ/kg)

$H_t$  = Radiación horaria incidente sobre la superficie inclinada del colector (kJ/m<sup>2</sup>).

$A_c$  = área del colector (m<sup>2</sup>)

$P_v$  = Consumo de energía por los ventiladores (kJ)

En relación a la evaluación económica, las determinaciones de los costos de secado están en función del tiempo y de los insumos (Inversión construcción del secador, energía eléctrica, depreciación del equipo, volumen de producto, salarios por carga, costo del terreno y de administración).

Como parte del análisis económico, es necesario determinar el costo unitario de secar un kilogramo de producto seco, lo que se calcula mediante la fórmula:

$$C_s = \frac{C_{as}}{M_y}$$

Dónde:

$C_s$  = Costo unitario de un kg de producto seco obtenido en el secador.

$C_{as}$  = Costo total anual de un secador (infraestructura, operación y mano de obra).

$M_y$  = Kilogramos de producto secado en un año.

Otro dato importante que debe determinar es el costo para obtener un kilogramo de producto seco por carga de secado ( $C_{dp}$ ), lo que se logra a través de la ecuación:

$$C_{dp} = C_{fp} \frac{M_f}{M_d}$$

Dónde:

$C_{fp}$  = Costo por kg de producto fresco.



$M_f$  = Masa de producto fresco cargado en el secador solar por carga.

$M_d$  = Masa de producto seco retirado del secador solar por carga.

Finalmente, se debe determinar el costo total de un kg de producto seco ( $C_{ds}$ ) del secador solar:

$$C_{ds} = C_{dp} + C_s$$

Dónde:

$C_{dp}$  = Costo de obtener un kg de producto seco.

$C_s$  Costo de secado por kilogramo de producto seco en el secador.

Con todo lo anterior, ahora se puede calcular el ahorro por kilogramo de producto seco ( $S_{kg}$ ) en el año base debido al uso del secador solar, mediante la ecuación:

$$S_{kg} = C_b - C_{ds}$$

Dónde:

$C_b$  = Precio de venta de producto seco.

$C_{ds}$  = Costo por kg de producto seco por el secador solar.

Así, para calcular el Valor Presente (VP) o Flujo de Efectivo Descontado (FED) de los ahorros, se utiliza la ecuación siguiente y consiste en determinar si el valor presente de los flujos esperados justifica la inversión (Purohit *et al*, 2006; Purohit y Purohit, 2010):

$$VP = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{I_j}{(1+i)^j} - \frac{G_j}{(1+i)^j} \right]$$

Donde:

$V_p$  = Valor presente de los flujos totales futuros.

$I_j$  = Ingresos en la carga j-ésima.

$G_j$  = Gastos realizados en el secador solar en la carga j-ésima.

$n$  = horizonte de planeación.



$i$  = Tasa de descuento.

Sin embargo, en la actualidad ya no es suficiente con determinar la eficiencia térmica, ahora también se recomienda analizar las entradas de energía y los consumos energéticos como parte del costo operacional y del ciclo de vida de un secador solar, para aumentar el uso de energía renovable en un marco de cambio climático (Quintanar y Aguilar, 2018).

Tomando como base un análisis de ciclo de vida, el aporte de energía en los materiales utilizados en la construcción del secador solar, se estima mediante la expresión:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i m_i$$

Donde:

$\xi_i$  es la intensidad de energía (MJ por unidad de masa) del material del  $i$ -ésimo componente,

$n$  es el número total de componentes y,

$m_i$  representa la masa del  $i$ -ésimo componente en el sistema.

Por lo tanto, el secador solar seleccionado debe cumplir los principios básicos de factibilidad de secado: en el menor tiempo; al menor costo y con el mínimo de degradación del producto. Además, de ser el de menor impacto ambiental.

### 3 CONCLUSIONES

Ante la gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares existentes, los resultados demuestran que es factible generar un marco metodológico con parámetros apropiados, para seleccionar la tecnología de secado apropiada que apoye en la conservación de alimentos en las áreas rurales del país. Estos criterios permiten realizar comparaciones entre los secadores existentes, más allá de su eficiencia térmica, capacidad y costo de inversión. Ahora, se agregan parámetros como el costo operativo de secado y el



impacto sobre el medio ambiente, mediante la evaluación y comparación de la energía incorporada en la construcción del propio secador.



## REFERENCIAS

- Abdellatif, S. M.; Y. M. El-Hadidi; G. A. M. A. Razik and D. O. EL-Sayed. 2018. Comparative study for two types of solar dryers (modified-quinset and lean-to) for drying Stevia plants (*Rebaudiana bertonii*). Journal Soil Science and Agricultural Eng., Mansoura Univ. 9 (8):313-320.
- Al-Busoul M. M. 2017. Design of fruits solar energy dryer under climatic condition in Jordan. Journal of Power and Energy Engineering 5:123-137.
- Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). Solar drying. Solar Energy, 85(8), 1665–1691.
- FAO. (2015). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Boletín 2. 31 p. Disponible: <http://www.fao.org/3/l4655S.pdf>.
- Jambhulkar A. C., V. B. Pawar, S. B. Pawar, A. S. Dharwadkar, P. S. Pandure and S. P. Gadewar. 2017. Solar drying techniques and performance analysis: A review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 6:35-29.
- Jangde P. K., A. Singh and T. V. Arjunan. 2022. Efficient solar drying techniques: a review. Environmental Science and Pollution Research 29:50970-50983. doi.org/10.1007/s11356-021-15792-4
- Kabir M. H., P. M D'Souza and M. J. Ahsan. 2016. Prospects of solar energy drying technologies: A critical review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 5(10):17866-17870.
- Kiggundu N., J. Wanyama, C. Galyaki, N. Banadda, J. H. Muyonga, A. Zziwa and I. Kabenge. 2016. Solar fruit drying technologies for smallholder farmers in Uganda, A review of design constraints and solutions. AgricEngInt: CIGR Journal 18(4):200-210.
- Krantz, J., J. Larsson, W. Lu and T. Olofsson. (2015). Assessing embodied energy and greenhouse gas emissions in infrastructure projects. Buildings 5:1156-1170.
- Kumar, S., A. Kulshrestha, S. K. saurabh, J. Singh, V. Sumit and R. Joshi. (2016). A study of new models and experimental investigations of solar drier system. International journal of mechanical and production engineering 4(7):7-10.
- Leon, M. A., S. Kumar and S. C. Bhattacharya. 2002. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. Renewable and Sustainable Energy Reviews 6:367–393.
- López V. E. C., César M. A. L., Garcia V. O., Pilatowsky F. I. and Brito O. R. 2020. Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*). Renewable Energy 147:845–855.
- Purohit P., A. Kumar and T. C. Kandpal. 2006. Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. Solar Energy 80:1568–1579.



Purohit I. y P. Purohit. 2010. Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India. *Energy Policy* 38:3015–3029.

Quintanar O., J. y P. Aguilar S. 2018. Determinación de energía incorporada para el análisis de secadores solares tipo invernadero. *CONAMTI* 5(5):63-67.

Quintanar O. y R. Roa D. 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* Vol. 8 No. 2, pp. 215-221.

Sharma A., O. Chatta and A. Gupta. 2018. A review of solar energy use in drying. *International Journal of Engineering Technology Science and Research* 5(3):351-358.

Tiwari, A. 2016. A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing & Technology* 7(9):1-12.

Yoo J. Y., H. J. Kim., E. J. Woo and C. J. Park. 2017. On solar energy utilization for drying technology. *International Journal of Environmental Science and Development* 8(4):305-311.

Zarezade, M. and A. Mostafaeipour. 2016. Identifying the effective factors on implementing the solar dryers for Yazd province, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57:765–775.