

SELECCIÓN DEL SECADO SOLAR COMO TECNOLOGÍA APROPIADA PARA EL SECADO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS

*SELECTION OF SOLAR DRYING AS APPROPRIATE TECHNOLOGY
FOR DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS*

Juan Quintanar Olguin

C. E. San Martinito – CIRGOC – INIFAP, México
quintanar.juanl@inifap.gob.mx

Patricia Aguilar Sánchez

C. E. San Martinito – CIRGOC – INIFAP, México
aguilar.patricia@inifap.gob.mx

Recepción: 13/junio/2021

Aceptación: 15/diciembre/2021

Resumen

La finalidad del artículo es mostrar los principios básicos de un secado solar, su clasificación tomando como base el calentamiento del fluido de secado, la forma de hacer circular el aire al interior de la cámara y sus principios de operación, cumpliendo con todas las características para clasificarla como tecnología apropiada. Los parámetros más importantes para seleccionar un secador solar están relacionados con las variaciones en el diseño, los materiales de construcción, las condiciones de operación, las preferencias del consumidor y las interpretaciones de calidad del producto seco, así como de carácter económico para realizar el proceso de secado al menor costo posible.

Palabras Clave: Clasificación, parámetros, tipos de secador.

Abstract

The purpose of the article is to show the basic principles of solar drying, its classification based on the heating of the drying fluid, the way to circulate the air inside the chamber and its principles of operation, complying with all the characteristics for classify it as appropriate technology. The most important parameters for selecting a solar dryer are related to variations in design, construction

materials, operating conditions, consumer preferences and quality interpretations of the dry product, as well as the economic nature to carry out the process drying at the lowest possible cost.

Keywords: *Classification, parameters, types of dryer.*

1. Introducción

La energía solar es una de las fuentes de energía más antiguas que ha utilizado el hombre para el secado de diversos alimentos de origen agrícola, esto con el fin de conservarlos evitando pérdidas por excedentes estacionales, que en los países en desarrollo representan entre el 30 y el 40% de la producción agrícola [El-Sebaï and Shalaby, 2012] y para el caso de México llega a un 37% de la misma, básicamente de productos como guayaba, mango, aguacate, plátano, nopal, arroz y pepino [FAO, 2015], ya sea para uso familiar o para la comercialización de algunos excedentes, generando ganancias durante los periodos de escases [Belessiotis and Delyannis, 2011]. En general, los alimentos de origen agrícola 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.

Durante los últimos años, se han desarrollaron varios tipos de secadoras solares para su aplicación en secado de productos agrícolas [Kumar *et al.*, 2016]. Sin embargo, la mayoría de estos secadores son equipos generalmente de baja capacidad [Belessiotis and Delyannis, 2011]. Los resultados evaluados revelan que el proceso de secado es bastante simple, de bajo costo y el producto se seca en un ambiente higiénico [Sharma *et al.*, 2018]. El secado solar ayuda a retener la calidad del producto al reducir su masa y volumen, lo que ayuda a un buen empaque de estos productos para su mejor movilidad [Umayal and Veeramanipriya, 2017].

El funcionamiento de los secadores solares está basado en el principio invernadero, donde la energía solar es atrapada mediante colectores o placas internas que elevan la temperatura del fluido (aire), el cual realiza el proceso de secado al circular a través del producto a secar, transportando la humedad evaporada de los materiales, su diseño se ha fundamentado principalmente en datos empíricos y

semiempíricos más que en diseños teóricos [Lahoud *et al.*, 2020], sin tomar en consideración el uso de la energía, la cual se sigue considerando gratuita, renovable y no contaminante al provenir del sol [Sharma *et al.*, 2018]. Un secador solar bien diseñado supera 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]. Aunque debe entenderse que existen fuertes 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 que, la tendencia de los diseños es hacia la simplicidad, para disminuir al máximo los costos de inversión y de operación, aumentando así su rentabilidad, debido a que no existe una diferencia significativa en los resultados obtenidos con los diseños más primitivos respecto de los más sofisticados, por lo que puede aplicarse el concepto de tecnología apropiada, que es aquella diseñada con especial atención a los aspectos medioambientales, éticos, culturales, sociales y económicos de la comunidad a la que se dirigen [Turner, 1972]. 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 agrícolas, como base de su conservación, mejorando su calidad y disminuyendo el tiempo empleado en este proceso.

2. Método

Para efecto de este trabajo de investigación, tomando como base los fundamentos del uso de la energía solar para el secado de productos agrícolas, se realizó una investigación documental informativa y cualitativa, con la necesidad de la recolección de información y la revisión de literatura de los componentes del proceso.

Para alcanzar el objetivo de conocer el proceso de secado solar, se desarrolló un proceso metodológico específico:

- Se identificaron las investigaciones más relevantes. Se buscó información relacionada con la tecnología de secado solar, desde la definición, los

fundamentos, los diseños de secadores y los modelos de evaluación de los mismos, se procedió a indagar y revisar su contenido.

- Una vez que se estructuró la información, se procedió a conceptualizar los componentes del secador solar, con el fin de dar soporte a los fundamentos para la evaluación y selección de los secadores solares.
- Se recopiló y analizaron puntos clave para evaluar el concepto de tecnología apropiada al uso de la energía solar para el secado solar de productos agrícolas.

3. Resultados y discusión

Un secador solar es aquel equipo que utiliza la radiación solar que llega a la tierra para eliminar la humedad de los productos, calentando un fluido, bajándole su humedad relativa y elevando su temperatura para que éste sea el agente secante que extraiga la humedad del producto a secar por el cual este pasará.

El diseño básico de la tecnología de los secadores solares consta de cuatro partes fundamentales, y aunque pueden existir variaciones y agregados de equipo según el diseño o grado de sofisticación del mismo, los elementos principales son: cámara de secado, sistema de captación de la energía solar, sistema de circulación del aire y sistema de control de humedad y temperatura. La cámara de secado es la parte donde se realiza el proceso de secado. Para su diseño no existen especificaciones particulares, pero debe ajustarse a las necesidades técnicas del proceso. El colector solar puede o no formar parte de la cámara. El movimiento del aire al interior del secador solar debe ser continuo, tanto para que se caliente al pasar por el colector como para que circule a través del material a secar, se realiza por convección natural o forzada. Debido a que la humedad y temperatura al interior del secador, dependen de las condiciones ambientales, principalmente su control básico es manual, mediante la apertura y cierre de ventilas. Existe una gran variedad de diseños y tipos de secadores que emplean energía solar, según sus características:

- **Forma de calentamiento.** Dependiendo de la forma y lugar donde se realiza el calentamiento del fluido de secado [Sharma *et al.*, 2018; Dronachari and Shriramulu, 2019; Bhavsar, 2020], los secadores son clasificados en:

- ✓ **Secador solar indirecto.** En estos secadores, el colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector por el efecto invernadero que se genera en éste, y es movido a la cámara de secado por convección natural o forzada, para realizar el proceso de secado. Este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad por una exposición directa al sol.
- ✓ **Secador solar directo.** En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.
La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos, especialmente en los secadores de menor tamaño. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de aire por convección natural. Esto hace que a veces el control del proceso sea poco confiable. Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial.
- ✓ **Secador solar mixto.** Este tipo de secador está conformado por una cámara de secado y un colector solar. La diferencia con respecto al secador solar indirecto se da, en este caso, que la radiación solar incide tanto en un colector solar previo a la cámara como en la misma cámara, por lo que presentan varias ventajas, como facilitar el control del proceso (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Además, es fácil integrarle una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido.

Por otro lado, al tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga. Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que, al añadir un colector previo a la cámara para recolectar más energía, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la

misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos.

- **Forma de circulación del aire.** El aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto y se pueden clasificar por su forma de circulación del aire en dos grupos principales [Ramteke *et al.*, 2016], a saber:
 - ✓ Sistemas pasivos de secado (denominados convencionalmente sistemas de secado solar de circulación natural).
 - ✓ Sistemas activos de secado (la mayoría de los cuales se denominan a menudo secadores solares híbridos).
- **Forma de operación.** La forma de operar un secador solar da lugar a dos alternativas:
 - ✓ **Secado en lotes.** El producto es cargado en un solo lote o carga única y la misma no se retira hasta que esté completamente seca.
 - ✓ **Secado continuo.** El producto se va cargando y descargando en tandas parciales. Dentro del mismo secador se encuentra una parte de producto húmedo y otra casi seca.

Parámetros para considerar en la selección de un secador solar como tecnología apropiada

De acuerdo con los resultados de la revisión, la selección de un secador solar implica una interacción de un número relativamente grande de factores, tanto técnicos como económicos y que además permitan hacer comparativos entre diferentes modelos (Tabla 1). El secador elegido debe ser capaz de realizar el trabajo requerido en términos de remoción de humedad, rendimiento y capacidad de manejo de alimento al menor costo posible [Leon *et al.*, 2002; Tiwari, 2016; Zarezade and Mostafaeipour, 2016].

Los parámetros más importantes para seleccionar un secador solar están relacionados con las variaciones en el diseño, los materiales de construcción, las condiciones de operación, las preferencias del consumidor y las interpretaciones de calidad del producto seco [Visavale, 2012].

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

Grupo	Parámetros	VARIABLES A CONSIDERAR
1	Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo y tamaño. • Área del colector • Capacidad de secado • Área y número de bandejas
2	Comportamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar local. • Tiempo de secado y velocidad de secado • Temperatura y humedad del aire de secado • Velocidad del aire
3	Propiedades del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Características físicas húmedo y seco • Acidez y corrosividad • Tamaño del producto
4	Características de secado del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad inicial • Contenido de humedad final • Temperatura máxima de secado • Tiempo de secado
5	Localmente apropiado	<ul style="list-style-type: none"> • Asequible • Capacidad local para construir, reparar y mantener • Fácil de operar • Optimización de los espacios
6	Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con los requisitos de inocuidad alimentaria • Disponibles localmente • Requerir menos personal calificado • No propenso a la degradación ambiental
7	Económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Costo del secador • Costo unitario de secado • Recuperación de la inversión

Fuente: Elaboración con adaptación de [1], [15], [20], [24] y [25].

La eficiencia de un sistema de secado habitualmente se expresa a través de diferentes parámetros tales como: eficiencia del secador, eficiencia del colector solar, tasa de extracción de humedad específico, capacidad evaporativa [Montero, 2005]. A nivel mundial, se ha encontrado que la eficiencia térmica de los secadores solares se puede encontrar en un rango de 10-50%, dependiendo del modo de funcionamiento y del tipo de secadero [Montero, 2005; Tiwaria *et al.*, 2013, Zakaria, 2013; Bergues y Díaz, 2014]. A nivel particular, autores como Rajeshwari y Ramalingam [2012] reportan una eficiencia del 15% al 18%, en todas las condiciones de ensayo de un diseño de secador solar tipo caja. Sin embargo, Sreekumar [2013] reporta una eficiencia de 52.55% en un secador solar.

En la actualidad ya no es suficiente con determinar la eficiencia térmica de un secador solar, ahora también se recomienda analizar las entradas de energía y los

consumos energéticos como parte del costo operacional y del ciclo de vida del secador solar, esto para mejorar la eficiencia energética, aumentar el uso eficiente de la energía renovable y recuperar el calor residual, para reducir la demanda de energía global y la huella de carbono, en un marco de cambio climático [Mall and Singh, 2017]. Por lo tanto, para evaluar la factibilidad de uso de un secador solar deben considerarse diversos aspectos, como:

- Las ventajas de incorporar el proceso de secado en el ciclo productivo para mejorar el valor agregado e incorporar posibilidades de industrialización o aumentar el volumen disponible de materia prima a un contenido de humedad apropiado.
- La eficiencia del secado solar respecto al secado al aire libre y la importancia de esta tecnología para mejorar la calidad de la materia prima.
- Algunos elementos técnicos a tener en cuenta para comparar eficiencia respecto al secado al aire libre son:
 - ✓ Posibilidades de alcanzar una humedad final homogénea apropiada para la conservación de los alimentos (Humedad final menor a 12%).
 - ✓ Temperaturas apropiadas para el secado de alimentos (Temperatura menor a 60 °C).
 - ✓ Tiempos de secado más cortos y controlados que en el secado al aire libre, lo que favorece la calidad del producto.
 - ✓ Mayor independencia de las condiciones meteorológicas.

Por lo tanto, 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].

Por otro lado, como las principales características que tiene una tecnología apropiada son las siguientes [Javi, 2006]:

- Bajo costo
- Fácil construcción
- Fácil mantenimiento
- Utilización de recursos locales

- Amigable con el ambiente

Mismas que los secadores solares cumplen en toda su extensión, además, pueden ser fácilmente repetidas con simpleza y sin necesitar de ajustes posteriores.

4. Conclusión

Ante la gran variedad de diseños y tamaños de secadores solares existentes, los resultados demuestran que es factible realizar la selección de un secador solar apropiado a las condiciones de una localidad específica, tomando en cuenta las características y propiedades del producto a agrícola a secar, aplicando el concepto de tecnología apropiada. La definición de parámetros permite realizar comparaciones entre diferentes secadores, más allá de su eficiencia térmica, capacidad y costo de inversión.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] 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.
- [2] Bhavsar, H. P. 2020. Performance evaluation of various types of solar dryer and drying technologies. *International Journal of Advanced Science and Technology* 29(9):6020-6032.
- [3] Belessiotis, V., & Delyannis, E. 2011. Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691.
- [4] FAO. (2015). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Boletín 2. 31 p: <http://www.fao.org/3/I4655S.pdf>.
- [5] Bergues R., C. C. y J. R. Díaz L. (2014). Diagramas de tendencia para la generalización sostenible de secadores solares directos de productos agropecuarios. *Tecnología química* 34(2):143-151.
- [6] El-Sebaili A. A. and S.M. Shalaby. 2012. Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1):37– 43.
- [7] Javi, V. M. 2006. Actualizaciones al concepto de tecnología apropiada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 10(12):55-61.

- [8] Dronachari M. and Shriramulu. 2019. Application of different types solar dryers in agriculture crops- A review. *Int. J. Pure App. Biosci.* 7(2):303-326 DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5586>.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Mall, P. and D. Singh. (2017). Advanced technologies and experimental investigations in solar dryers: a review. *Indian J. Sci. Res.* 17(2):145-150.
- [13] Montero P., I. (2005). Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos. Tesis doctoral. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. Badajoz. España. 262 p.
- [14] Lahoud M. F., C. Lahoud and M. Brouche. 2020. Solar drying simulation of different products: Lebanese case. *Academia Journal of Scientific Research* 8(8):239-249.
- [15] 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.
- [16] Rajeshwari N. and A. Ramalingam. (2012). Low cost material used to construct effective box type solar dryer. *Archives of Applied Science Research*, 4 (3):1476-1482.
- [17] Turner, J. 1972. *Freedom to Build, dweller control of the housing process.* Editorial Macmillan. New York, NY.
- [18] Umayal S., A. R. and E. Veeramanipriya. 2017. A review of solar dryers for drying agricultural products. *Indian J. Sci. Res.* 14(1):311-317.

- [19] Ramteke R. T., C. N. Gangde and S. R. Kalbande. 2016. Potential and development of solar drying technology: A Review. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research* 3(6):128-139.
- [20] Tiwaria G.; V. K. Katiyara; V. Dwivedia; A. K. Katiyarb and C. K. Pandeyb. (2013). A comparative study of commonly used solar dryers in India. *International Journal of Current Engineering and Technology* 3(3): 994-999.
- [21] 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.
- [22] Sreekumar A. (2013). Evaluation of a roof-integrated solar air heating system for drying foodstuffs. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3(3):209-213.
- [23] Tiwari, A. 2016. A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing & Technology* 7: 623. doi: 10.4172/2157-7110.1000623
- [24] Visavale, G. L. 2012. Principles, classification and selection of solar dryers. In *Solar drying: Fundamentals, Applications and Innovations*, Ed. Hii, C.L., Ong, S.P., Jangam, S.V. and Mujumdar, A.S., Published in Singapore. Pp. 1-50.
- [25] 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.
- [26] Zakaria H. M. (2013). Development of solar dryer for drying of chilli seeds. Thesis Master of science. Bangladesh Agricultural University. Mymensingh, Bangladesh. 57 p.