

Análisis de las ventajas de prototipos de secadores solares para la deshidratación de alimentos de origen vegetal

Valencia Muñiz Vanessa Stephania¹, Arceo Díaz Santiago¹, Bricio Barrios Jaime Alberto²,
Bricio Barrios Elena Elsa², Fonseca Palacios Alin Jael², Moreno Peña José Ricardo¹, García Solórzano Luis Aarón¹

¹ Tecnológico Nacional de México campus Colima. Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbanística. Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Col. C.P. 28976, Colonia Liberación

² Universidad de Colima, Facultad de Medicina. Av. Universidad No. 333, Colima, Col. C.P. 28040, Colonia Las Viboras

Resumen

México cuenta con los elementos indispensables para el uso de energías limpias, como la energía solar. Debido a la gran cantidad de días completamente soleados que se presentan en la región occidente, el uso de secadores solares es una buena alternativa para la conservación de alimentos. En este trabajo se revisaron algunos de los secadores solares más comunes con el objetivo de determinar cuál provee de las mayores ventajas durante el proceso de secado de alimentos de origen vegetal. Se hace una comparativa de temperatura, tiempo necesario para deshidratar los alimentos y eficiencia. Con base en las características y requerimientos de deshidratación de una lista de productos vegetales comunes en la región, se encontró que el tipo de secador indirecto son los que presentan mayores ventajas en términos conservación de aporte nutricional y temperatura. Con la única desventaja del tiempo requerido para alcanzar el secado completo.

Abstract

Mexico has the essential elements for the use of clean energy, such as solar energy. Due to the large number of completely sunny days that occur in the western region, the use of solar dryers is a good alternative for food preservation. In this work, some of the most common solar dryers were reviewed in order to determine which one provides the greatest advantages during the drying process of foods of vegetable origin. A comparison of temperature, time necessary to dehydrate food and efficiency is made. Based on the characteristics and dehydration requirements of a list of common plant products in the region, it was found that the type of indirect dryer is the one with the greatest advantages. in terms of conservation of nutritional contribution and temperature. With the only disadvantage of the time required to reach complete drying.

Palabras Clave: secador solar, secado de alimentos, energía renovable, seguridad alimentaria, inocuidad alimentaria

Keywords: solar dryer, food drying, renewable energy, food safety, food safety

1. INTRODUCCIÓN

En México, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, creó los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) que identifican problemas prioritarios para la sociedad mexicana y buscan propuestas de solución basadas en la investigación científica [1]. Uno de esos programas es la Soberanía Alimentaria, que pretende otorgar el derecho de los pueblos de establecer su política agraria y alimentaria, creando las condiciones para generar alimentos saludables y fortalecer sus sistemas de producción agrícola [2].

Dentro de los PRONACES, también existe el Programa Nacional para Energía y Cambio Climático. Este programa se centra en la reducción del uso excesivo de la energía eléctrica y los combustibles fósiles, a través del desarrollo de nuevas tecnologías [1]. De las propuestas alternativas a las fuentes no renovables, la energía solar se refiere al aprovechamiento de la luz solar para la producción de calor o electricidad. En específico, la energía solar ha sido empleada en la conceptualización, diseño y construcción de sistemas de deshidratación de alimentos (denominada como “secado”) para extender su útil sin afectar sus propiedades nutrimentales a la par de mantener su inocuidad [3].

Hay diversos factores que deben considerarse para facilitar la correcta deshidratación de alimentos mediante un secador solar, independientemente de su tipo. Previo a la adquisición de estos equipos, se debe considerar el tipo de alimento a secar, la cantidad que desee secarse y el tiempo de secado necesario para eliminar, parcial o totalmente, el agua en su interior y, ante todo, determinar el rango de temperatura necesario para que la deshidratación se complete y se mantengan las propiedades nutrimentales a la par de garantizar la inocuidad del producto [4].

Por tanto, este trabajo presenta cómo el uso de secadores solares para la deshidratación de alimentos provee de una alternativa viable para las comunidades rurales de México. Así mismo, describe el proceso de secado para alimentos de origen vegetal y compara las ventajas y desventajas de los tipos de secadores solares más comunes, buscando determinar cuál de ellos representa una mejor alternativa para su implementación en comunidades rurales del estado de Colima, México.

1.1 Estadísticas a nivel global, nacional y estatal acerca de la soberanía y seguridad alimentaria

La falta de acceso a alimentos de la canasta básica, el hambre y la desnutrición, es una problemática que afecta a todos los países del mundo sin importar el poder adquisitivo, cultural o social [5]. En el año 2019, alrededor de dos mil millones de personas en el mundo no tuvieron acceso a alimentos nutritivos [6]. En México, el 23.5% de la población vive en inseguridad alimentaria, es decir, no tienen acceso garantizado a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para llevar una vida activa y saludable. De acuerdo con el CONEVAL esto se debe a la falta de disponibilidad de alimentos y/o a la falta de recursos para obtenerlos [7], siendo las comunidades rurales las más perjudicadas [8]. Por ejemplo, UNICEF, reportó que en el 2020 en México el 55.5% de los hogares reportó inseguridad alimentaria, este porcentaje incrementó hasta 69.1% en las comunidades rurales. Esta tendencia se mantiene si se consideran grupos vulnerables como los niños donde se reportó que existen 881,752 niños con desnutrición crónica de los cuales 7.7% corresponden a zonas urbanas y 11.2% a rurales [7].

Si bien, en Colima existe gran diversidad de actividades económicas primarias que permiten el acceso de alimentos a bajo costo, siendo uno de los estados más beneficiados, no obstante, el 17.7 % de sus habitantes no tiene acceso a la alimentación nutritiva [9].

Aunado a la problemática del acceso de alimentos, la preparación de éstos requiere disponer de electrodomésticos como estufa y refrigeradores que funcionan con fuentes no renovables de energía, que compromete el tiempo de vida de los alimentos y, en consecuencia, la generación de desperdicios con un volumen estimado anual de diez mil toneladas de alimento no consumido [10].

Además del problema de desperdicio de alimento, en México se reportó que la mayor parte de la energía térmica que se consume en las viviendas, se destina a la cocción o el calentamiento de alimentos. De acuerdo con el tipo de energía utilizado los porcentajes son: gas LP con 79%, leña o carbón con 11%, y gas natural con 7%.

1.2 Viabilidad de la luz solar para la deshidratación de alimentos de origen vegetal

El uso de la energía solar para la deshidratación de alimentos ha mostrado ser una alternativa viable para mejorar el estado nutricional de individuos en comunidades rurales permitiendo el acceso a una nueva fuente de energía para la cocción de alimentos cuando la electricidad o el gas natural no están disponibles [11].

Los secadores solares utilizan el calor generado mediante la captación de la luz solar para calentar el aire almacenado en su interior. Los alimentos contenidos en el secador solar son expuestos al aire caliente o a la radiación solar directa, favoreciendo la extracción del agua en su interior. Generalmente, el proceso de secado solo requiere de la luz solar para la transferencia de calor por convección o radiación (en el caso de los secadores parabólicos), por lo que el costo implicado se remite al de su fabricación. Si bien, es factible construir un secador solar de forma artesanal a través de materiales asequibles y sin requerir un entrenamiento especializado en el tema, también es posible adquirir uno comercialmente, aunque esto requiere una inversión entre dos mil y ocho mil pesos mexicanos, según el tamaño del dispositivo [11].

A pesar del alto desempeño de los secadores solares artesanales y comerciales, la eficiencia de estos equipos depende de la ubicación geográfica, intensidad de radiación solar y cantidad de días soleados. Tomando en consideración lo anterior, México es un buen candidato.

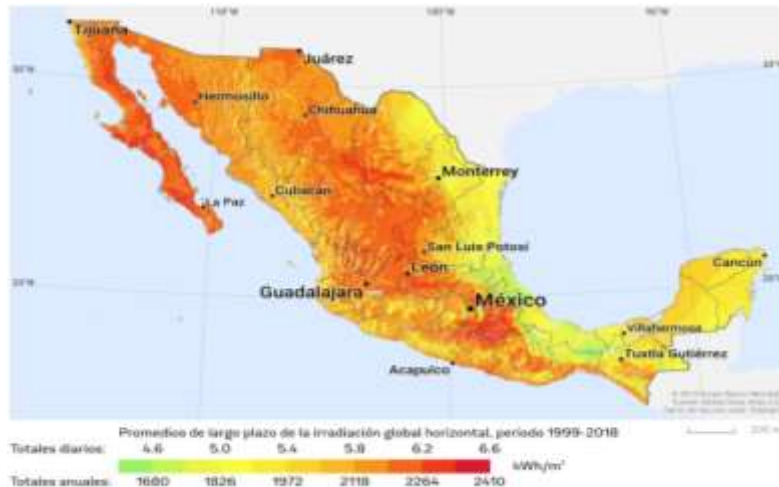


Figura 1. Mapa de radiación solar anual promedio en México (medida en KWh/m²). Fuente: Global Solar Atlas (2022)

La Figura 1, muestra la distribución geográfica de radiación anual promedio (medida en kilowatt hora por metro cuadrado) en el territorio mexicano. El estado de Colima, ubicado en la costa occidental de México, tiene un promedio diario de más de 12 horas de luz solar (donde, los máximos de horas diarias de Sol corresponden, respectivamente, a los meses de junio y enero, como lo muestra la Figura 2). Lo anterior se traduce en que la radiación solar promedio por unidad de área que supere los 5.5 kilowatt-hora por metro cuadrado. Esto muestra la viabilidad del uso de la energía solar en actividades como la deshidratación de alimentos [12].

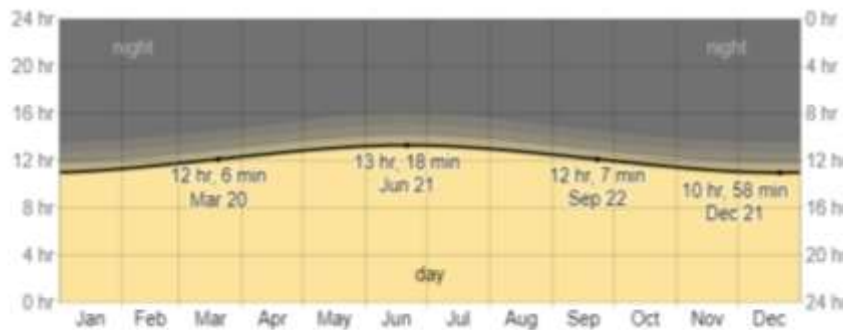


Figura 2. Cantidad de horas promedio de sol por día para el estado de Colima.

1.3 Panorama agroalimentario

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera en el 2020, reportó que México dispone de alrededor de 3 mil almacenes agrícolas, siendo uno de los principales a nivel mundial en la producción de cultivos agrícolas y de alimentos [13]. El estado de Colima es uno de los mayores productores de alimentos de origen vegetal, frambuesa, melón, piña y papaya con una producción de aprox. 25,000 toneladas anuales tornando a estos alimentos, como un nicho de oportunidad para extender su periodo de caducidad y consumo a través de su secado [13].

1.4 Factores que intervienen en el secado

Previo a la adquisición de un secador solar, es de interés mencionar algunos factores que intervienen en el secado como: i) Asegurar que el aire caliente al que se exponen los alimentos se encuentre a temperaturas puede favorecer la velocidad del secado, pero también dañar la coloración del alimento seco, su contenido nutricional (ya que algunas vitaminas, como la A y C, son susceptibles a degradarse ante altas temperaturas) [14]. ii) La humedad es un factor importante puesto que, para disminuir los niveles de rancidez, y garantizar la inocuidad del fruto, se debe reducir la humedad ambiental dentro del secador. Se estima que los porcentajes óptimos para lograr una deshidratación completa, se debe eliminar cerca del 80%, dependiendo del tipo de alimento. Típicamente los alimentos deshidratados presentan una mayor dulzura y frescura, en comparación con frutos húmedos [15]. Adicionalmente una deshidratación correcta prolonga el tiempo de viabilidad de las sustancias antioxidantes presentes en los alimentos [15].

1.5 Frutos rojos

Dentro del grupo de las frutas existe un grupo llamado frutos rojos, que son una clase de frutas morfológica y nutritivamente parecidos y cuyos colores varían en diferentes tonos y escalas del color rojo [16]. Son un tipo de frutas pequeñas como las moras, las fresas, las grosellas, los ándalos, las frambuesas, entre otras, que tradicionalmente no se cultivaban, sino que crecían en arbustos silvestres del bosque, el fruto es una baya y hoy en día se cultivan en climas que varían entre los 12 grados y los 18 grados C. Pueden ser dulces o ácidas, son jugosas y llamativas por sus tonos que varían del morado oscuro al rojo intenso. Contienen grandes cantidades de carotenoides que son los responsables del color de estos frutos y de su alto poder antioxidante. Estos frutos tienen un bajo valor calórico y son ricas en vitamina C, que interviene en la formación de colágeno, huesos, dientes y glóbulos rojos; a la vez favorece la absorción del hierro de los alimentos y brinda resistencia al organismo contra infecciones. Son buena fuente de fibra lo cual favorece el tránsito intestinal; y contienen taninos de acción astringente y protectora cardiovascular, además de potasio, hierro y calcio. Su consumo también reduce el riesgo de diabetes mellitus tipo 2 (T2DM) y el deterioro neurológico [16].

Además, son grandes candidatos de alimentos nutritivos que pueden consumir secos por sus múltiples beneficios a la salud, deberían ser parte fundamental de toda dieta alimentaria, más aún en los primeros años de vida, esto debido al aporte de vitaminas, minerales, fibra, agua y otros nutrientes que son esenciales para el buen funcionamiento del organismo [17]. Para obtener estos beneficios la cantidad necesaria que se debe consumir es no menos de 400 g al día según la Organización Mundial de la salud.

Los frutos que se seleccionaron dentro de esta categoría, para el proceso de deshidratación fueron: el arándano, fresa, uva, frambuesa. Una de las principales razones de su elección fue la abundante disponibilidad que existe por la cuantiosa producción de ellos en el estado de Colima.

Entre las muchas características benéficas que poseen los frutos rojos para el desarrollo del ser humano, el efecto antioxidante es la más importante. El metabolismo de un ser humano, en su funcionamiento normal, produce radicales libres, es decir, átomos o grupos de átomos inestables que reaccionan con otros y los dañan convirtiéndolos en nuevos radicales libres, y así sucesivamente. Estos son necesarios y tienen algunas funciones beneficiosas como la de combatir bacterias y virus. Sin embargo, la contaminación ambiental, el estrés, el cigarrillo, una alimentación pobre en antioxidantes y otras causas pueden hacer que los niveles de radicales libres superen los límites saludables y se desencadene enfermedades y envejecimiento prematuro. Los antioxidantes funcionan como agentes que neutralizan el efecto nocivo de los radicales libres, previniendo el daño de células y tejidos. A pesar de haber una gran oferta de suplementos en pastillas a base de ellos, las frutas y verduras siguen siendo las fuentes más ricas y seguras, pues también las que el cuerpo humano conoce naturalmente. Su color ayuda a identificar qué tipo de antioxidantes contiene y cuáles son sus propiedades [18].

La Tabla 1 reporta diferentes alimentos que pueden ser deshidratados sin afectar sus propiedades nutrimentales [19].

Tabla 1. Alimentos de origen vegetal y sus requerimientos para su secado

Producto	Peso fresco (%)	Peso seco (%)	Temperatura promedio (°C)
Arándano	87,8	12-16	65
Fresa	89	12-16	65
Uva	80	15-20	55
Frambuesa	87	10-17	65

1.6 Preparación previa de los alimentos en el proceso de secado

Previo a la incorporación de los alimentos en el interior del secador, se proponen los siguientes pasos que se muestran en la Figura 3.

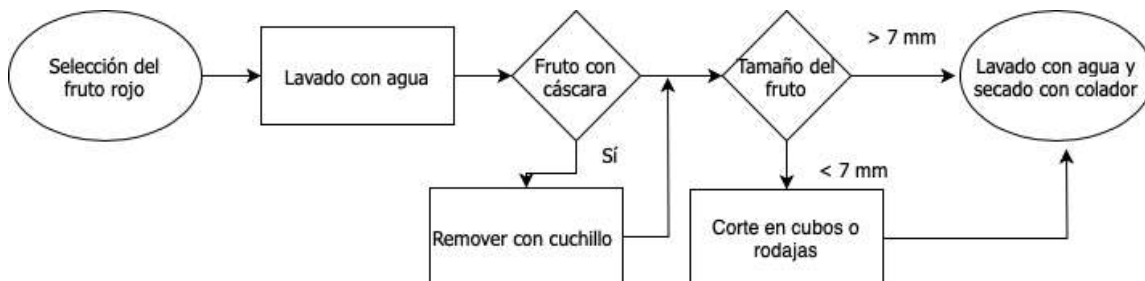


Figura 3. Diagrama de flujo: Preparación previa de los alimentos en el proceso de secado

- 1.- Seleccionar alimentos que estén en buen estado, evitar frutos con manchas o demasiado maduros. (Puesto que aun cuando retire la parte podrida, el deterioro se puede haber extendido rápidamente a otras partes sanas del alimento) [19].
- 2.- Lavar los frutos con agua potable, ya que algunos estudios realizados anteriormente, indican que los patógenos de humanos tienen la habilidad de internarse en los tejidos de las frutas y hortalizas [20]. Esta habilidad de los microorganismos podría representar un riesgo para la salud humana si no se tiene la precaución de lavar, desinfectar o eliminar la epidermis de los frutos.
- 3.- Quitar la cáscara (en el caso de los alimentos que tengan una cáscara dura hay que eliminarla para eficientar el secado).
- 4.- Para aquellos alimentos con un tamaño superior a los 7 mm se recomienda cortarlos en secciones uniformes, ya sea en rodajas o cubos (El hacer estos cortes facilita la eliminación de agua contenida en los alimentos, evitando que se mantenga dentro durante todo el proceso de secado). Se recomienda no utilizar tablas de madera para cortar los alimentos, debido a que es un material poroso, en la cual se pueden albergar microorganismos y de donde no pueden ser fácilmente eliminados por los procedimientos convencionales de desinfección. Los microorganismos sobreviven en tablas de madera en estado latente por largo tiempo y en el próximo uso, estos pueden contaminar otros alimentos.
- 5.- Volver a lavar para quitar cualquier suciedad que pudiera haber sido introducida durante el corte.
- 6.- Colocar las secciones cortadas en las bandejas de secado de acuerdo con sus características. Además, se recomienda colocar los frutos desde temprano para aprovechar el máximo de horas del sol, y eficientar el tiempo de secado.

1.7 Ventajas de los secadores solares

El secado solar de un alimento radica en la eliminación pasiva del contenido de agua mediante la luz solar, con el objetivo de ralentizar el proceso de descomposición microbiana [21]. Realizado de forma adecuada, el secado solar favorece la conservación del alimento, en algunos casos hasta por cinco años, sin afectar sus propiedades nutrimentales [22].

Además de extender el periodo de vida del alimento, algunos otros beneficios asociados al uso de secadores solares son: i) la reducción de peso y volumen de los frutos, que implica una disminución económica en almacenamiento y transporte [23]. ii) Eliminación de gastos asociados a la refrigeración del alimento. iii) Dificultar la contaminación bacteriana, ya que el alimento seco no cuenta con un contenido de agua que pueda ser aprovechado por los microorganismos [24].

1.8 Tipos de secadores solares y criterios de elección

Basados en las necesidades del consumidor, existen diferentes tipos de secadores, los cuales se clasifican en: tradicionales, parabólicos, directos, indirectos y mixtos. A continuación, se describen cinco diferentes tipos de secadores solares, con el fin de mostrar aquellas características que pudieran ser de interés al consumidor, de acuerdo con el tipo de alimentos que pueden procesarse, temperatura, inocuidad de los alimentos, tiempo de secado, y el costo asociado a la construcción del dispositivo.

Los secadores tradicionales (véase Figura 4) consisten simplemente de una malla o material textil, que se tiende sobre una superficie en la que los alimentos serán expuestos directamente a la luz solar, sin que exista, ningún tipo de barrera mecánica que los proteja del ambiente. Los secadores tradicionales son los más utilizados desde la antigüedad para la conservación de frutas y verduras. Sin embargo, a pesar de que se cumple con el objetivo de deshidratar los alimentos, el secado al aire libre deja a los alimentos expuestos al polvo e insectos (esto puede deteriorarlos o causar enfermedades al consumirlos [25]).



Figura 4. Secador tradicional

El secador parabólico de la Figura 5 es denominado así debido a su geometría, los rayos inciden en la superficie reflectante y se concentran en el foco del paraboloide, produciéndose en este sitio temperaturas muy elevadas (hasta alrededor 300 °C grados, dependiendo de la geometría del paraboloide). Los alimentos que se deseen deshidratar deben colocarse cerca del foco. Sin embargo, debe considerarse que las altas temperaturas pueden representar diversos riesgos, como dañar las propiedades nutrimentales y organolépticas de los alimentos hasta producir quemaduras severas en los usuarios. No obstante, los secadores parabólicos necesitan permanecer alineados con el sol, para evitar que su potencia se reduzca drásticamente [26].



Figura 5. Secador solar parabólico

Un secador solar directo utiliza el calor generado por la luz solar que atraviesa las paredes de un material traslúcido (típicamente vidrio, acrílico, o plástico) para eliminar el contenido de agua de los alimentos. A diferencia del secador solar tradicional, los alimentos en un secador solar directo no se exponen directamente a las corrientes de aire, dificultando la contaminación microbiana. Sin embargo, la temperatura de secado es mucho más baja que la que genera un secador solar parabólico (en un rango de entre 55 °C y 65 °C), esto puede

llevar a que para algunos tipos de alimentos el tiempo de secado pueda ser de alrededor de 41 horas, a una temperatura de 65 °C. Uno de los inconvenientes de estos dispositivos es que, al exponerse de manera directa a la luz solar, se pierda o se dañe el color natural de los alimentos, (algo conocido como “blanqueado”), además de que pueda perderse una parte del valor nutricional debido a las altas temperaturas, y propiedades organolépticas de los alimentos expuestos directamente a la radiación solar [27]. La Figura 6 muestra, de izquierda a derecha, un secador solar directo, mixto e indirecto.



Figura 6. Secador solar directo, mixto e indirecto (ordenados de izquierda a derecha)

El secador solar indirecto posee una estructura similar al directo. Sin embargo, las paredes de la cámara de secado en la que se colocan los alimentos están hechas (o recubiertas) de un material opaco a la luz. Un captador de radiación solar está conectado a esta cámara. En este captador, los rayos solares atraviesan una superficie traslúcida calentando el aire en el interior, el cual se transmite por convección hacia el interior de la cámara de secado. Dentro, los alimentos se colocan en bandejas, que permiten el paso del aire a través de los alimentos (típicamente estas bandejas constan de un marco de madera con malla plástica o metálica). El aislamiento de la cámara beneficia a la conservación de los nutrientes y las propiedades organolépticas en los alimentos. Al igual que con los secadores solares directos, el tiempo necesario para la deshidratación oscila entre las 41 horas y 56 horas [28].

El secador solar mixto es una combinación de los secadores solares directo e indirecto. En estos dispositivos todas las paredes, tanto la cámara de secado, como las del colector solar, son traslúcidas. De esta forma, se capta la energía solar para deshidratar los alimentos de una manera más eficiente. A diferencia de los otros sistemas este secador alcanza hasta 88 °C en su cabina y un tiempo de secado de 29 horas [28].

1.9 Proceso posterior al secado

Al finalizar el proceso de secado se recomienda realizar los siguientes pasos para garantizar la inocuidad del alimento [29]:

Las frutas secas presentan diversos cambios bioquímicos durante su almacenamiento, debido a su contenido de agua como a la actividad de agua (a_w). El material que se utilizara para empacar posea una buena barrera contra moléculas de agua, oxígeno y dióxido de carbono. Actualmente se emplean distintos tipos de materiales de empaque para almacenar frutas deshidratadas, dentro de los cuales se encuentran el polietileno de alta y baja densidad, polipropileno [30].

1.- Antes de envasarlos, inspeccionar que alimentos secos tienen mal aspecto y separarlos, escoger solo los que cumplan con las propiedades organolépticas.

2.- Al término de secado, se deben de empaquetar, de lo contrario puede humedecerse a causa de la humedad del ambiente.

Para el empaquetado es necesario utilizar recipientes de plástico, cajas o latas herméticas de metal o bolsas de polipropileno, y sellarse.

3.- Deben ser almacenados en buenas condiciones:

i) Guardar los productos en un lugar seco, con flujo constante de aire, y protegido de la luz. ii) El lugar debe estar limpio y protegido de insectos y ratones, o cualquier tipo de animales, etc.

iii) Si se logra que los productos cumplan con los requisitos anteriores, se garantiza que tendrán buena calidad, por tanto, pueden conservarse durante muchos meses.

2. RESULTADOS

En la actualidad, los consumidores están preocupados por un consumo de alimentos más saludables. Durante el proceso de secado ocurren cambios físicos y químicos (deterioro por altas temperaturas o procesos de oxidación) que pueden disminuir el contenido en compuestos de elevado valor nutricional como fenoles, antioxidantes o carotenoides [31]. Por ello, el proceso de secado debe de realizarse de manera que se puedan minimizar los cambios en las características organolépticas, la pérdida de calidad y la pérdida de nutrientes en el alimento. De acuerdo con la lista de alimentos de la Tabla 1, como se mencionó anteriormente, se seleccionaron los frutos rojos, debido a sus grandes beneficios. A continuación, se realizará un análisis de la temperatura máxima de secado y temperatura recomendada para la deshidratación, así como la inocuidad en los alimentos, en los 5 tipos de secadores solares.

2.1 Temperatura de secado

Respecto a la temperatura, se tomaron como referencia los valores reportados en la literatura (ver Tabla 1) como adecuados para completar la deshidratación de los alimentos. Estos valores, se compararon con las temperaturas que típicamente pueden alcanzarse con cada tipo de secador solar, tratando de determinar el grado de coincidencia entre las temperaturas de secado adecuadas y las temperaturas operativas en los secadores. La Tabla 2 muestra una comparación entre las temperaturas máximas de cada tipo de secador (tradicional, parabólico, directo, indirecto y mixto) y las temperaturas recomendadas para el secado solar de cuatro diferentes frutos rojos: arándanos, fresa, uva y frambuesa.

En la Tabla 2, los números que se muestran a la izquierda de la diagonal representan la temperatura máxima en cada tipo de secador, mientras que los números a la derecha de la diagonal, corresponden a la temperatura

recomendada para cada tipo de alimento. Mientras que, los datos coloreados con verde representan situaciones en la que la temperatura máxima de cada tipo de secador necesaria coincide un rango de 5 °C con la temperatura necesaria para cada tipo de alimento de origen vegetal. Los valores coloreados con naranja indican situaciones en la que la temperatura máxima de cada tipo de secador coincide en un rango de +/- 10 °C con la temperatura necesaria para cada tipo de alimento de origen vegetal. Mientras que los números en rojo indican situaciones en las que la temperatura necesaria es sobrepasada.

Tabla 2. Comparación entre temperatura máxima de secado y temperatura recomendada para la deshidratación de los alimentos

Tipo de secador/Temperatura óptima (° C)	Arándano	Fresa	Uva	Frambuesa
Tradicional	30-35*/65	24.5*/65	32*/55	32*/65
Parabólica	100/65	100/65	100/55	100/65
Directo	65.3/65	65.3/65	65.3/55	65.3/65
Indirecto	65.2/65	65.2/65	65.2/55	65.2/65
Mixto	88.8/65	88.8/65	88.8/65	88.8/65

El asterisco hace referencia a que la temperatura mostrada corresponde a la temperatura promedio medida durante la temporada de producción de la fruta correspondiente.

El secador tradicional no es óptimo para el proceso de secado de los alimentos mencionando anteriormente en la Tabla 2, debido a que sus temperaturas son muy variables y el rango máximo que podrían alcanzar es el de 40 °C, por tanto, no alcanza la temperatura recomendada para deshidratar correctamente los alimentos de origen vegetal. Otra desventaja en relación con la calidad nutricional y fisicoquímica por la alta exposición a la radiación UV y a la seguridad por la extensión de alimentos sobre el suelo, causando contaminaciones e infecciones microbianas [32]. Además de aumentar las pérdidas por podredumbre o enmohecimiento al no quedar expuesto al rocío y a la lluvia. Por tanto, el alimento no pasaría las pruebas de calidad, y esto provocaría mayores pérdidas de producción de frutos.

Asimismo, en el caso del secador solar parabólico, a diferencia de los otros tiene como ventaja, la eficacia en el tiempo de secado, pero la temperatura que se alcanza, a pesar de exceder los 100 °C, no es la óptima, ya que, si se excede los 65 °C, hay una gran pérdida de nutrientes en los alimentos [33].

El secador solar directo, es uno de los que resultó más idóneo después de la evaluación de las temperaturas, las cuales fueron mayores de 65 °C en la cámara de secado lo cual es recomendable para frutos que solo se busca por su contenido de fibra más no por mantener la vitamina C.

Las temperaturas que alcanzó el secador solar mixto exceden los 65 °C por tanto si no se desea conservar las propiedades organolépticas y nutrimentales, y eficientar las horas de secado, este secador pudiera ser una opción viable.

En cambio, el secador solar indirecto, cuya velocidad de secado es menor, en su cámara de secado llega a temperaturas menores de 65 °C, lo cual hace que se cumplan los requisitos para mantener las cualidades nutricionales de las frutas, lo que nos permite deshidratarlas correctamente.

2. 2 Inocuidad alimentaria

Previo al consumo humano del fruto que ha sido secado, es de interés determinar si estos productos tienen riesgo de contaminarse por actividad microbiana y, en consecuencia, pueda ocasionar molestia estomacal, cólicos abdominales, diarrea, fiebre y deshidratación [33]. Si bien, estas enfermedades son agudas, se estima que en México es la principal causa de ausentismo laboral [34].

Una estrategia para determinar si el alimento no tiene riesgos de ser atacado por microorganismos patógenos, es disponer de un alimento que ha sido secado, al menos en un 60% respecto al peso original [35]. Tradicionalmente, la medición de la humedad requiere de un analizador de humedad halógeno donde el operador extrae una muestra que se está secando por periodos pre asignados hasta alcanzar humedad constante. Otra estrategia fue propuesta por Aghbashio en [36] quienes propusieron una Ecuación (1) que permite estimar la humedad en el interior de un secador solar.

$$H = 0.62198 \frac{Pws}{[(100 \times Pvp) - Pws]} \quad (1)$$

donde Pvp y Pws es la presión de vapor de saturación de vapor propuestas por Singh OK y Kaushik en [43]. A partir de la temperatura óptima reportada de la Tabla 2 y de la temperatura mínima y máxima reportada para la fresa [44], arándano [45], zarzamora [46] y uva [47]; la Tabla 3 muestra la humedad para estos frutos rojos empleando la Ecuación 1.

Tabla 3. Rango de humedad en el interior del secador con base en la Ecuación de Aghbashio en [36]

Tipo de secador	Temp mínima (° C)	Temp óptima (° C)	Temp máxima (° C)	Humedad mínima (%)	Humedad óptima (%)	Humedad máxima (%)
Fresa	35	52	70	58,5	55,6	52,3
Arándano	35	65	70	58,5	57,8	52,3
Zarzamora	35	65	70	58,5	57,8	52,3
Uva	35	55	55	56,1	56,1	56,1

La Tabla 3 muestra la relación de temperatura y humedad mínima, óptima y máxima para los cuatro frutos rojos. Se observa que, en todos los casos, la cantidad de humedad es inferior al 60%, es decir, el secado de estos frutos impide la proliferación de agentes patógenos. Por otro lado, se observa que, al incrementar la temperatura de secado, el porcentaje de humedad se reducirá, este patrón coincide con Ramírez en [48], Bautista en [49] y Bravo en [50], entre otros.

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo aborda el análisis del secado de frutos rojos que se producen en el estado de Colima tomando en consideración los requerimientos térmicos, estructurales, costo e inocuidad para la elección de sistemas de secadores de tipo solar. A pesar de existir diversos tipos de secadores solares, no todos los dispositivos para secado de alimentos, son necesariamente óptimos en términos de calidad del producto deshidratado.

En este estudio se observó que, para el secado de los frutos bajo estudio, los secadores de tipo indirecto ofrecen estas ventajas, debido a las temperaturas que alcanza las cuales oscilan hasta los 65 °C, y a que los alimentos a deshidratar se mantienen almacenados en la cámara de secado sin exposición al sol, se permite que sus propiedades organolépticas y nutritivas sean conservados.

Por su parte, el secador solar tradicional no es una opción viable para un secado eficaz debido a que no alcanza ni las temperaturas mínimas para la deshidratación (de 35 °C) por la humedad se corre el riesgo del crecimiento de bacterias y mohos, resultando un producto de mala presentación y posiblemente perjudicial para los consumidores [37].

Una de las ventajas de los secadores solares parabólicos es que pueden alcanzar temperaturas muy altas, por encima de los 100 °C, esto ayuda a reducir el tiempo de secado, pero en este caso como se pretende deshidratar un alimento, se recomienda que las temperaturas de deshidratación no sobrepasen los 65 °C, por tanto, no es un secador apto para un proceso de deshidratación. Aunque posee grandes ventajas, como es el ahorro económico, ya que por utilizarla no se paga ningún tipo de energía o combustible, no produce ningún tipo de gas contaminante para la atmósfera, y si se utiliza de la mejor manera, el tiempo en que los alimentos tardan en cocinarse es muy similar a lo que tarda una estufa convencional [42].

A pesar de que las temperaturas alcanzadas en los secadores directos son 65 °C, no son ideales para la conservación de las propiedades organolépticas. Constructivamente está formado por materiales traslúcidos, normalmente de vidrio, esto no afecta la inocuidad de los alimentos, ya que es inerte a la mayoría de los productos químicos. Los alimentos no reaccionan con él para producir compuestos peligrosos o indeseables que podrían contaminar o contaminar los alimentos. El hecho de que el vidrio sea impermeable a los gases y al agua, lo hace ideal para el almacenamiento a largo plazo de alimentos vulnerables al deterioro por exposición al oxígeno y la humedad, por tanto, el material utilizado en la estructura de la cámara de secado del secador directo (vidrio) no será una fuente de contaminación para los alimentos en el proceso de secado [38].

El secador solar mixto, fue uno de los que resultó más idóneos para la correcta deshidratación por las temperaturas obtenidas, y debido a los materiales empleados en el diseño de la estructura, pero a consecuencia de que los alimentos colocados en la cámara de secado se encuentran expuestos a la luz solar no se conservarán las propiedades organolépticas del alimento.

Asimismo se observó que, a pesar de que las temperaturas recomendadas son alcanzadas en el secador solar indirecto, y es eficiente en tiempo de secado, estructuralmente tiene deficiencias, debido a que los materiales de construcción de su cámara de secado son de madera, los tipos de superficie en un secador solar juegan un papel importante en la contaminación microbiana de los alimentos, generalmente cualquier superficie es vulnerable al desarrollo del biofilms, estos se definen como comunidades de microorganismos que crecen embebidos en una matriz de exopolisacáridos y adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo, esas bacterias son más propicias a la contaminación en plásticos, vidrio, y madera. Experimentos de contaminación cruzada

demonstraron que las tablas de madera, presentan un mayor potencial para causar una contaminación cruzada [39], por tanto, los materiales utilizados en el secador provocarán contaminación microbiana en los alimentos. Por tanto, se concluye que los secadores más viables para el correcto deshidratado son el secador solar mixto y el indirecto, la selección dependerá de las necesidades principales del consumidor.

REFERENCIAS

- [1] García Barrios, R. (2019). ¿Qué son los PRONACES?
- [2] Carrasco, H., & Tejada, S. (2008). *Soberanía alimentaria: la libertad de elegir para asegurar nuestra alimentación*. Soluciones Prácticas.
- [3] Ramírez-Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 553-565.
- [4] Wais, N. (2011). *Secado combinado de frutas: Deshidratación osmótica y microondas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- [5] Reyes Camahuali, J. F. (2022). Análisis de los factores subyacentes asociados a la desnutrición crónica infantil en el Perú según ENDES 2019-2020.
- [6] Araya, H., & Lutz, M. (2003). Alimentos funcionales y saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30(1), 8-14.
- [7] ENSANUT (2020). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados nacionales. Publicado en 2020. Disponible en: https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_informe_final.pdf
- [8] Ponce Quezada, G. I. (2015). Intervención en el consumo alimentario de mujeres en una comunidad mixteca de Oaxaca. En búsqueda de la soberanía alimentaria.
- [9] Mora, S. E. C. (2022). Políticas públicas en seguridad alimentaria y su impacto en territorios con referentes culturales diferentes, el caso de las regiones tsotsil y tseltal del municipio de Huixtán, Chiapas, México.
- [10] Reyes, J. Á. M. (2004). El problema de la basura en la ciudad de México. *Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos*, 3-79.
- [11] Rosas Flores, J. A. (2011). Evolución del consumo y gasto económico de energía en el sector residencial (urbano-rural) mexicano 1996-2006.
- [12] Solargis.(2023,). *Global Solar Atlas*. Globalsolaratlas.info. de <https://globalsolaratlas.info/map>
- [13] *Presentación del Panorama Agroalimentario 2020: Un reconocimiento a los héroes de la alimentación*. gob.mx.
- [14] Cueto, E. M. P. (1997). Diseño y ensayo de un secador solar para madera. *Madera y Bosques*, 3(2), 13-28.]
- [15] Jackson, T. H., & Mohammed, B. B. (1969). Sun drying of fruits and vegetables (Arabic ed.). *FAO Agricultural Services Bulletin (FAO) eng no. 5*.
- [16] Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(ESPECIAL), 72-80.
- [17] Franky Aljure, P. A. (2012). Frutos rojos diseño a través de los colores de la vitalidad.
- [18] Gvozdenović, J., Aljilji, A., Lazić, V., Svrzić, G., & Tepić, A. (2007). Influence of packaging materials protective characteristics on the quality changes of dried apples. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi/PTEP*, 11(3), 112-115.
- [19] De Michelis, A., & Ohaco, E. (2012). Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. *Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*.
- [20] Ávila-Quezada, G., Sánchez, E., Muñoz, E., Martínez, L. R., & Villalobos, E. (2008). Diagnóstico de la calidad microbiológica de frutas y hortalizas en Chihuahua, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 77, 129-136.
- [21] Hollman, P. C., Slangen, J. H., Wagstaffe, P. J., Faure, U., Southgate, D. A., & Finglas, P. M. (1993). Intercomparison of methods for the determination of vitamins in foods. Part 2. Water-soluble vitamins. *Analyst*, 118(5), 481-488.
- [22] Echeverriarza, M. P. (2005). Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. *Fundación Celestina Pérez de Almada. Asunción Paraguay*.
- [23] Cajamarca Ruiz, E. E. (2010). *Evaluación nutricional de la oca (Oxalis tuberosa sara-oca) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) de Plata, G. V. (2003). La contaminación de los alimentos, un problema por resolver. *Salud UIS*, 35(1).
- [24] Frías, K. A. P., Granados-Conde, C., Mendez, G. L., Pineda, Y. A., & Alarcon, M. T. (2018). EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN PROCESOS DE SECADO. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(1), 107-117.
- [25] Mozo, C. G., & González, E. G. (2014). Diseño y construcción de una cocina solar. *INGENIERÍA Escuela Universitaria Politécnica de Valladolid*
- [26] Gramajo, M. G. P. (2019). *Aplicación de los métodos de conservación de alimentos*. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1(15).
- [27] Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., & Quispe Flores, M. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (Physalis Peruviana L.). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 248-254.

- [28] Bartz, J. A., & Showalter, R. K. (1981). Infiltration of tomatoes by aqueous bacterial suspensions. *Phytopathology*, 71(5), 515-8.
- [29] Cipriani Villar, C. (2016). Efecto del empaque en el contenido de humedad final para dos tipos de manzanas deshidratadas en almacenamiento controlado.
- [30] Alimentarius, C. (2015). codex Stan 192, 1995. *Norme générale Codex pour les additifs alimentaires*.
- [31] Williamson, G., & Clifford, M. N. (2010). Colonic metabolites of berry polyphenols: the missing link to biological activity? *British Journal of Nutrition*, 104(S3), S48-S66.
- [32] Beneyto, M. S. (2011). *Manipulador de comidas preparadas*. Editorial Club Universitario.
- [33] Economista, E. (2017, agosto 17). *Males estomacales, entre principales causas de ausentismo laboral*. El Economista <https://www.economista.com.mx/el-empresario/Males-estomacales-entre-principales-causas-de-ausentismo-laboral-20170822-0215.htm>
- [34] Cabascango Molina, O. N. (2019). *Evaluación del efecto de tres métodos de secado sobre la actividad antioxidante y fenoles totales de la uvilla physalis peruviana L* (Bachelor's thesis).
- [35] Rodríguez Mata, P. J. (2018). Efecto de la radiación solar en el proceso de secado de las uvas con horno solar.
- [36] Aghbashlo M, Kianmehr MH, Arabhosseini A. Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. *J Food Eng* 2009; 91:99 – 108.
- [37] Singh OK, Kaushik SC. Variables influencing the exergy based performance of a Steam Power Plant. *Int J Green Energy* 2013; 10:257 – 84.
- [38] Grayhurst, P. (2012). Glass packaging. In *Packaging technology* (pp. 109-121). Woodhead Publishing.
- [39] Todd E, Greig J, Bartleson C, Michaels BS. Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 6. Transmission and survival of pathogens in the food processing and preparation environment. *J Food Prot*. 2009; 72(1):202-19.
- [40] Gough, N. L., & Dodd, C. E. R. (1998). The survival and disinfection of Salmonella typhimurium on chopping board surfaces of wood and plastic. *Food Control*, 9(6), 363-368.
- [41] Chin Ortíz, K. J. (2017). *Diseño y análisis de pruebas experimentales de una estufa solar parabólica casera* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- [42] Espinoza Gonzales, J. J., & Montiel Fernández, J. A. (2016). *Fermentación en estado sólido de Saccharum officinarum con diferentes niveles de inclusión de follaje fresco de Moringa oleifera Managua, 2016* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).
- [43] Singh OK, Kaushik SC. Variables influencing the exergy based performance of a Steam Power Plant. *Int J Green Energy* 2013; 10:257 – 84.
- [44] Doymaz, I. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(5), 914-919.
- [45] Lim, K., Ma, M., & Dolan, K. D. (2011). Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products. *Journal of Food Science*, 76(7), H156-H164.
- [46] Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technology*, 31(4), 470-478.
- [47] Pangavhane, D. R., & Sawhney, R. L. (2002). Review of research and development work on solar dryers for grape drying. *Energy conversion and management*, 43(1), 45-61.
- [48] Ramírez, J. C. L., Arenas, C. J., & Correa, N. D. C. (2014). Evaluación psicométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos. *Alimentos Hoy*, 22(33), 26-39.
- [49] Bautista Aguirre, A. (2016). *Desempeño de deshidratador tipo túnel con dependencia de la temperatura y humedad para productos agrícolas* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- [50] Bravo, H. E. G., Muñoz, J. R., & López, A. 2021. Análisis de la influencia de la irradiancia, temperatura y humedad relativa en el comportamiento de una planta piloto de deshidratado de alimentos. Congreso Nacional de Secado y Cocción Solar de Alimentos.

Correo de autor: santiago.arceo@colima.tecnm.mx