

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE CHAROLAS HÍBRIDO

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HYBRID TRAY DEHYDRATOR

Zárate-Castillo, G.^{1*}; Huerta-Pérez, M.A.¹; Rodríguez-Alcalá, O.¹; Hernández-Loyo, L.¹;
Roque-Martínez, U.¹; Damián-Hernández, X.²

¹Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Av. Universidad No. 350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia. mgregoriozc@gmail.com

ABSTRACT

Dehydration is one of the oldest methods used by the human beings for the conservation of food. Over the time, this method has developed new techniques to improve the process and obtain good quality products. The objective of this project was to obtain drying kinetics of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) through the use of a hybrid convection dryer. The dryer operates with an optimum temperature range between 45° to 75 °C; the heating system works with 127 volts electric resistors powered by a bank of rechargeable batteries by means of solar panels and alternating current when the batteries have been discharged. The lime used were cut into slices of a thickness of 0.5 cm and with an average diameter of 7±1 cm which were dehydrated at 45 °C (590 min), 65 °C (550 min) and 75 °C (320 min) such time-temperature relation obtained humidity of less than 3% on a wet basis.

Key words: Convective drying, dehydration, drying kinetics.

RESUMEN

La deshidratación es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos, y con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas técnicas para mejorar el proceso y obtener productos de calidad. El presente trabajo tuvo como objetivo la obtención de cinéticas de secado de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) a través del uso de un deshidratador híbrido de convección, el cual opera en un rango de temperaturas óptimo de 45 a 75 °C; el sistema de calentamiento funciona con resistencias eléctricas de 127 volts alimentado por un banco de baterías recargables mediante paneles solares y corriente alterna cuando las baterías se han agotado. La lima fue cortada en rebanadas de un 0.5 cm de grosor con un diámetro de promedio de 7±1 cm las cuales se deshidrataron a 45 °C (590 min), 65 °C (550 min) y 75 °C (320 min) obteniéndose en dichas relaciones de tiempo-tempera una humedad menor al 3% en base húmeda.

Palabras clave: Secador híbrido, cinéticas de secado, lima persa.

INTRODUCCIÓN

El secado es el método más antiguo utilizado para la conservación de los alimentos (Lynn y Ed, 2017). Es empleado en la industria alimentaria debido a sus beneficios, como la pérdida de peso, la reducción del contenido de humedad y actividad de agua que son parámetros que reducen la probabilidad de crecimiento microbiano y las reacciones enzimáticas en el alimento deshidratado lo cual facilita el transporte y prolonga la vida útil de los alimentos. La deshidratación hace posible la obtención de productos de calidad nutritiva y de bajo costo. En la actualidad existen diferentes métodos para el secado de los alimentos, los cuales, se pueden clasificar de acuerdo a su función en: 1) Naturales; 2) Solares directos; 3) Solares indirectos; 4) Mixtos; y 5) Híbridos.

A continuación, se describen las características de los tipos de secadores mencionados anteriormente.

Secado natural. Se utiliza el sol y el aire directamente, por lo que el proceso no es controlado. Los alimentos son colocados sobre rejillas y puestos al sol con orientación hacia el viento para la deshidratación. Este tipo de secado es efectivo, aunque necesita de intervención humana para la protección y recolección del producto en caso de lluvia, de sobrecalentamiento de la capa superior y homogeneizar el producto para que se seque bien por ambos lados. Los secadores naturales son empleados tradicionalmente en comunidades pequeñas, ya que es un medio de conservación para sus productos que son para consumo o para venta. Una desventaja de este tipo de secado es la posibilidad de pérdidas por alimentos mal deshidratados, por destrucción de vitaminas A y C debido a la exposición directa al sol o contaminación por algunos insectos o animales.

Secado solar directo. Al igual que el secado natural, utiliza el sol de manera directa para la deshidratación de los alimentos. Los aparatos diseñados para ello son simples, hechos rústicamente con vidrios y cajones con charolas donde son puestos los alimentos a secar. Cabe mencionar que también se emplea aire para el proceso de deshidratación, generalmente es por circulación del aire que hay al exterior, raramente se emplean ventiladores en este tipo de secado.

Secado híbrido. Este tipo de secado utiliza la energía solar, además de otra fuente de energía como diesel, madera, y electricidad, entre otras, con el fin de asegurar

un nivel adecuado de calentamiento del aire (Ouaouich *et al.*, 2005). Estos secadores, son utilizados debido a su menor costo en producciones de gran escala o en aplicaciones comerciales donde la calidad del producto terminado depende de las condiciones climáticas (Chou y Chua, 2001).

Los parámetros que tienen influencia en el rendimiento de un secador son dos: 1) Las características del aire (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, entre otras); y 2) Las variables dimensionales como espesor, largo, alto, diámetro del secador y el diseño del mismo (Dadda *et al.*, 2009).

Generalmente los deshidratadores híbridos consisten de un colector solar (panel), un reflector, una unidad de almacenamiento de calor y una cámara de secado. Los secadores de este tipo pueden trabajar tanto con luz solar como con otras energías, el objetivo principal es aprovechar los rayos solares que son captados por los paneles solares para convertirlos en energía y con ella llevar a cabo el proceso de secado de frutas o verduras principalmente o cualquier otro alimento. Si la radiación solar no es suficiente, debido a condiciones climáticas, se utilizan otras fuentes de energía alterna, normalmente energía eléctrica, para llevar a cabo el secado. Una condición particular de los secadores híbridos es que deben ser adaptados específicamente a las condiciones del lugar.

Lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka)

Es una variedad de las limas que crecen de manera silvestre. Tienen una excelente calidad y uniformidad, los árboles crecen desde el nivel del mar hasta los 2200 metros de altitud. El árbol puede alcanzar una altura de 7 m, pero es preferible mantenerlos pequeños. Su fruto es ligeramente ovalado, tiene un peso que va de 55 a 75 g, es de cáscara fina, tiene en promedio 12 gajos o segmentos que contienen la pulpa que es de color amarillo verdoso, es ácida y muy aromática. El fruto es verde intenso en las primeras etapas de desarrollo, y se torna verde claro hasta amarillo cuando envejece, lo que ocasiona pérdida de aroma y no tiene buen rendimiento de jugo como fruta fresca.

Producción de lima persa

En el año 2013 México ocupó el segundo lugar como productor de limones y limas en el mundo, con un rendimiento promedio de 13.29 t ha⁻¹ en un área cosechada de 151,000 ha. Este rendimiento contrasta con los

reportados para Argentina con 28.93 t ha^{-1} , Brasil con 23.83 t ha^{-1} y Estados Unidos con 37.15 t ha^{-1} , lo cual hace evidente la necesidad de nuevos desarrollos tecnológicos e innovaciones para mejorar este indicador en el país. A nivel nacional, el estado de Veracruz presenta una dinámica importante en la producción de cítricos, misma que representó 80%, 52% y 60% de la producción nacional de naranja agria, naranja valencia y limón persa, respectivamente (Fernández-Lambert et al., 2015).

La cadena de producto de los cítricos en Veracruz incluye además de la fruta, algunos productos industrializados como concentrados, aceite esencial y gajos; y algunos subproductos para la industria farmacéutica, refresquera y alimentaria nacional e internacional (SIAP-SAGARPA, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Construcción del deshidratador

En la construcción de la cámara de secado se utilizaron láminas de acero inoxidable grado alimentario de medidas $50.5 \text{ cm} \times 71.0 \text{ cm} \times 52.0 \text{ cm}$. Se utilizó fibra de vidrio como aislante de un grosor de 6 cm para reducir la transferencia de calor del equipo al exterior de la cámara durante la deshidratación de los alimentos (Abdullah et al., 2001). Para la colocación de los alimentos se construyeron y colocaron rejillas de acero inoxidable de 2500 cm^2 colocadas de manera horizontal separados por espacio de 12.5 cm. Se instalaron 4 ventiladores en pares en las paredes verticales del gabinete. Se instalaron en pares en el nivel inferior y superior del cuerpo de la cámara de secado en forma de contracorriente a desnivel. En el interior de las paredes horizontales entre la cámara de secado y los ventiladores se colocaron resistencias eléctricas que suministran el calor al interior de las cámaras de secado a la vez que desplaza al exterior el aire húmedo. Para medir y controlar la temperatura se instaló en el gabinete un termopar de tipo "K" modelo Max 6675 calibrado con una precisión de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, el cual se instaló para programar la operación mediante la plataforma Arduino®.

Instalación eléctrica

Se instalaron cuatro resistencias de 300 watts con un diámetro de $3/8$ de pulgada con capacidad para ser alimentadas a 127 VCA (Voltaje de Corriente Alterna) y con recubrimiento de acero inoxidable de grado alimenticio. El suministro de energía eléctrica del equipo deshidratador se da a través de una fuente de alimentación de seis baterías de litio marca Trojan® Modelo

T-45 Plus de 6 volts de 260 AH 6 horas y 215 AH 5 horas que se cargan mediante tres paneles solares. Cuando la radiación solar es deficiente se cambia a energía de Comisión Federal de Electricidad (CFE) a 127 VCA, es decir funciona de manera híbrida mediante la utilización de un convertidor.

Pruebas de secado

Se seleccionaron frutos de lima persa que no presentaran manchas o que tuvieran un estado de madurez avanzado. Posteriormente se lavaron y se cortaron en rebanadas de un grosor de 0.5 cm, utilizando una rebanadora mecánica (Marca Torrey®, Modelo RB-250). Las unidades experimentales se identificaron y se aleatorizaron mediante el uso del software Microsoft Office Excel®. Las rebanadas se pesaron y colocaron en pesafiltros de aluminio de peso constante, se introdujeron al secador híbrido de charolas a temperaturas de 45, 65 y $75 \text{ }^\circ\text{C}$ y se procedió al deshidratado de la lima hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Durante el secado se tomaron muestras aleatoriamente en distintos intervalos de tiempo y se les determinó el contenido de humedad, posteriormente se graficaron las cinéticas de secado (Tripathy y Kumar, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron datos de tiempo de secado cuando el producto deshidratado alcanzó un nivel de humedad menor o igual al 3% obteniéndose las siguientes relaciones de tiempo-temperatura: 590 min para la temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 550 min para la temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ y 320 min para la temperatura de $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Se evaluó el efecto de la temperatura en la velocidad de secado mediante un Análisis de Varianza y la prueba de Fisher mediante el uso del software estadístico Minitab 15®. Se obtuvieron los siguientes resultados: a una temperatura de $45 \text{ }^\circ\text{C}$ se llevó un tiempo de secado de 590 minutos, aunque no se logró obtener el secado al nivel esperado. Por lo tanto, se considera que el proceso puede durar mucho más tiempo, lo que implica el uso de mayor cantidad de energía. Al emplear un secador solar de gabinete, Chen et al. (2005) sugieren incrementar gradualmente la temperatura $2 \text{ }^\circ\text{C}$ cada hora en un rango de trabajo de 36 a $52 \text{ }^\circ\text{C}$, con lo cual se obtienen frutos de limón deshidratados con características apropiadas de contenido de humedad y apariencia.

En la Figura 1 se muestra la curva el comportamiento que se tuvo de acuerdo al modelo experimental de

regresión, obtenido con los datos del proceso. El valor de r^2 mayor al 95% indica la cercanía de los datos al modelo, y la menor dispersión de los datos de la curva.

En la Figura 2 se presenta la gráfica con la curva de secado correspondiente a la temperatura de 65 °C. Se observa una mayor dispersión de los datos experimentales al modelo planteado, lo cual es reflejado en una reducción del valor de r^2 (ajustado: 90.8%). Esta mayor dispersión de los datos se debe a que los pesos de las rebanadas de lima variaron considerablemente unas a otras a pesar de haber sido cortadas del mismo grosor y ser del mismo tamaño. Sin embargo, a los 550 minutos, se llega a un peso constante, es decir, ya no hay más pérdida de agua en la lima.

En la Figura 3, se presenta también la curva correspondiente a la temperatura de 75 °C. Con esta temperatura se tiene un proceso más corto de 320 minutos, sin em-

bargo, las limas presentan al final del secado una coloración café obscuro, esto debido a la degradación de la vitamina C (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013), cuestión poco favorable para el deshidratado y el fin comercial que se desea obtener (Jun *et al.*, 2018). Además, los datos tuvieron una mayor dispersión y en consecuencia el valor de r^2 ajustado disminuyó a 89.8%

En la Figura 4 se muestra una gráfica que agrupa las tres curvas de secado con la finalidad de comparar mejor los resultados de las pruebas respecto a los modelos experimentales aplicados.

En las figuras mostradas anteriormente y el análisis estadístico del Cuadro 1, se demuestra que la mejor temperatura para el secado fue a 65 °C ya que con ella, la lima no sufre un cambio drástico con respecto al color y pierde a un nivel considerable su contenido de agua en un tiempo de 550 minutos (Jun *et al.*, 2018).

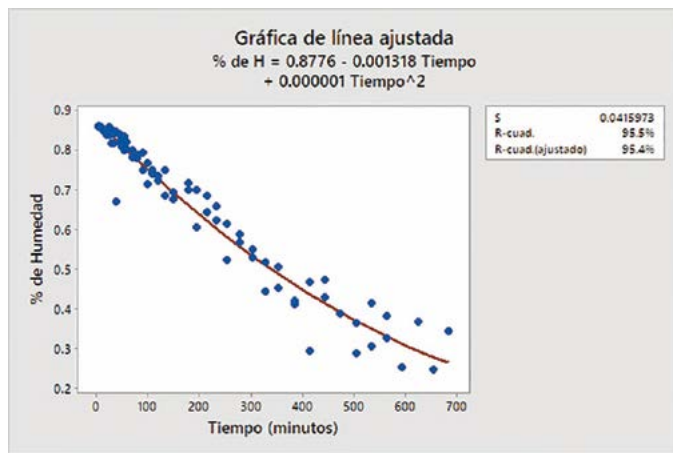


Figura 1. Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 45 °C.

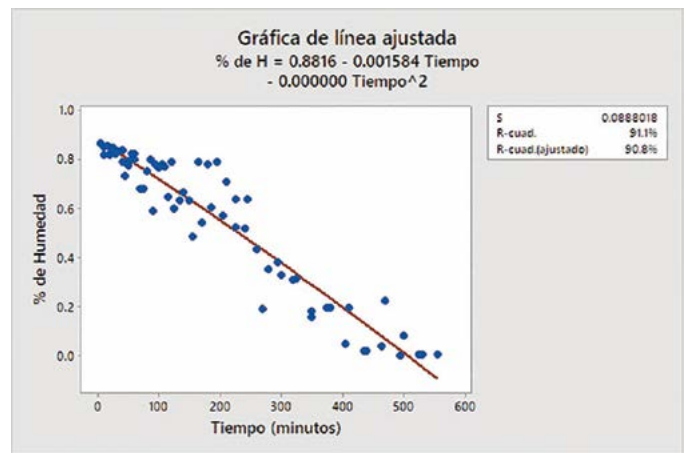


Figura 2. Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 65 °C.

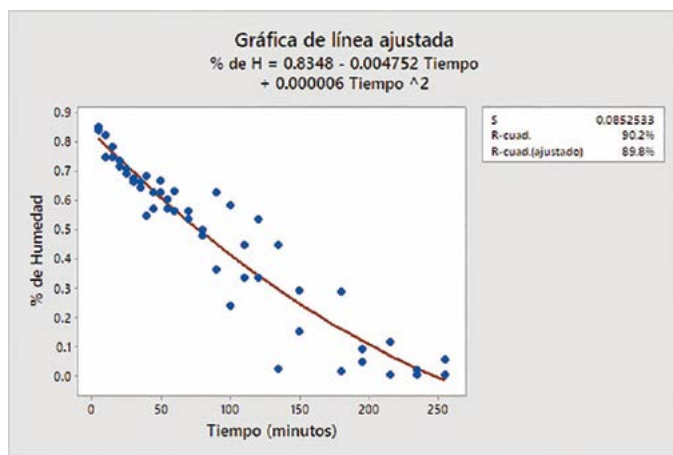


Figura 3. Curva de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a 75 °C.

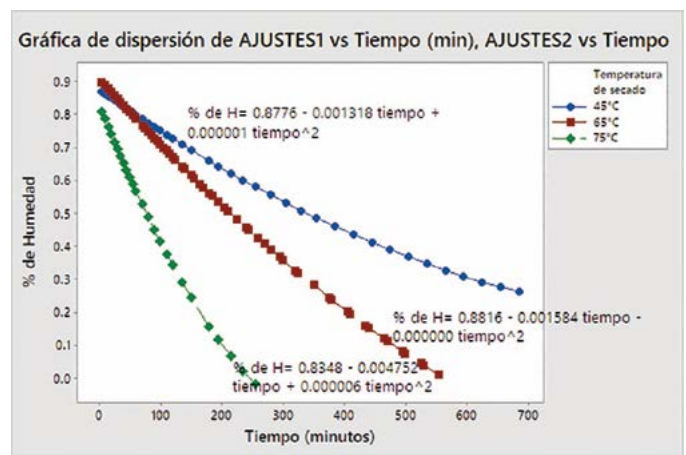


Figura 4. Comparativo de curvas de secado de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a tres temperaturas empleadas.

Cuadro 1. Humedad promedio de rebanadas de lima persa de 0.5 cm de grosor, en secador híbrido a tres diferentes temperaturas de secado.

Temperatura de secado (°C)	Contenido de humedad de las rebanadas al término del secado
45	0.64a
65	0.54b
75	0.47b

Medias con letra distinta en la misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Fisher ($P \leq 0.05$).

Funcionamiento del deshidratador

Se observó que en los primeros 45 minutos de la deshidratación de la lima persa la eficiencia disminuyó, lo cual se debe a que el agua que se encuentra en la superficie se evapora y el alimento busca equilibrar su temperatura con la de la cámara de secado. Las razones por las cuales se presenta esta resistencia de la pérdida de agua en este periodo se deben a que el alimento se encuentra a una baja temperatura al inicio del proceso de secado, por lo que necesita incrementar su temperatura para vaporizar el agua y siendo la humedad contenida en el alimento agua ligada, la cual necesita más energía y tiempo para poder separarla del alimento. Conforme el contenido de humedad va disminuyendo se necesita más energía para vaporizar el agua contenida en el alimento y esto se ve reflejado en la disminución de la eficiencia de secado, la cual relaciona la cantidad de agua evaporada y la energía suministrada a la cámara de secado. En estas condiciones de operación el tiempo de secado fue de 6 a 10 horas con un contenido de humedad final menor al 3% en base húmeda lo cual concuerda con el tiempo de secado de la investigación realizada por Jun *et al.*, (2018) en el secado de limón en un intervalo de temperaturas de 60 a 75 °C.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo, la utilización de la temperatura de 65 °C en el funcionamiento del deshidratador híbrido permite la obtención de lima persa deshidratada con características de calidad adecuadas para la comercialización del producto terminado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del PRODEP y de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz para el desarrollo de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguilar C.M.A. 2004. Curso sobre manejo, producción y comercialización de la lima persa (*Citrus latifolia* Tan.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- Abdullah K., Wulandani D., Nelwan L.O., Manalu L.P. 2001. Recent development of the solar drying in Indonesia. *Drying Technology* 19: 245-256.
- Chen H.H., Hernández C.E., Huang T.C. 2005. A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy* 78: 97-103.
- Chou S.K., Chua K.J. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science and Technology* 12:359-369.
- Dadda B., Kherrou S., Serir L. 2008. Réalisation d'un séchoir solaire indirect. *Revue des Energies Renouvelables* 2008: 127-134.
- Fernández-Lambert G., Aguilar-Lasserre A.A., Martínez-Castellanos G., Ruvalcaba-Sánchez M.L.G. Correa-Medina J.G., Martínez-Flores J.L. 2015. Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Veracruz-México. *Conciencia Tecnológica* 50: 21-31.
- Lynn P., Ed D. 2017. *Drying Fruits MontGuide*. Nutrition and Health (Food Preservation). Montana Extension Service Publications.
- Ordóñez-Santos L., Ospina-Portilla M., Rodríguez-Rodríguez D. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación* 10: 44-51.
- Ouaouich A., Osakwe A., Chimi H. 2005. Guide du constructeur du sechoir hybride. Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel. 26 p.
- SIAP-SAGARPA. 2016. Consultado el 01 de Febrero de 2018 de <https://www.gob.mx/siap/articulos/limon-casi-2-44-millones-de-toneladas-en-2016?idiom=es>.
- Tripathy P.P., Kumar S. 2009. A methodology for determination of temperature dependent mass transfer coefficients from drying kinetics: Application to solar drying. *Journal of Food Engineering* 90: 212-218.
- Wang J., Law C.L., Nema P.K., Zhao J.H., Xiao H.W. 2018. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering* 224: 129-138.

