

Propuesta de diseño de estufas solares sustentables para alimentos endémicos de Colima, México

Elena Elsa Bricio-Barrios¹, Santiago Arceo-Díaz²

¹ Tecnológico Nacional de México campus Colima. Departamento de Química y Bioquímica. Av. Tecnológico No. 1, Colonia Liberación, Villa De Álvarez; Col. México

² Tecnológico Nacional de México campus Colima. Departamento de Ciencias Básicas. Av. Tecnológico No. 1, Colonia Liberación, Villa De Álvarez; Col. México

Resumen

El desperdicio de comida es una problemática global que afecta a nivel social, económico y medioambiental. Aunado a los buenos hábitos en la compra y consumo de alimentos, el uso de estufas solares han permitido la preservación de los alimentos, no obstante, estos equipos no son asequibles para la mayoría de la población. Por tanto, este trabajo propone, vía exploratoria, la elaboración y evaluación de cajas de secado acopladas a un sistema de aislamiento térmico con material de reciclaje que permita deshidratar y preservar alimentos de origen animal y vegetal para determinar qué tipos de alimentos endémicos del estado de Colima, México. Los resultados mostraron que las cajas de secado propuestas cumplen con los requerimientos de una estufa solar, mientras que es posible la incorporación de los sistemas de retención de calor con base al alimento a secar como frutos rojos, cítricos y pescado.

Abstract

Food waste is a global problem that affects social, economic, and environmental levels. Coupled with good habits in the purchase and consumption of food, the use of solar stoves has allowed the preservation of food, however, this equipment is not affordable for the majority of the population. Therefore, this work proposes, through an exploratory approach, the development and evaluation of drying boxes coupled with a thermal insulation system with recycling material that allows dehydration and preservation of foods of animal and plant origin to determine what types of foods are endemic to the state of Colima, Mexico. The results showed that the proposed drying boxes meet the requirements of a solar stove, while it is possible to incorporate heat retention systems based on the food to be dried such as red fruits, citrus fruits, and fish.

Palabras Clave: estufa solar, deshidratador de alimentos, secador de alimentos

Keywords: solar stove, food dehydrator, food dryer

1. INTRODUCCIÓN

En el 2022, México fue categorizado como el país latinoamericano que desperdicia mayor cantidad de alimentos, equivalente a 930 millones de toneladas de alimentos de origen vegetal, mismos que por su naturaleza orgánica, sólo puede donarse a bancos de alimentos o emplearse como composta [1].

Aunque el gobierno federal mexicano ha creado y fomentado campañas de concientización para la elección, almacenamiento y conservación de alimentos, la alta cosecha de estos productos dificulta su preservación [2]. En específico, Colima se posicionó como el tercer productor nacional de frutos rojos, cítricos y pescado durante el 2022 [3]. No obstante, se estima que los agricultores colimenses descartan cerca del 30 % de sus alimentos al carecer de técnicas como sistemas de refrigeración o deshidratación [4].

De los sistemas de deshidratación, las estufas solares han mostrado ser una alternativa, estos dispositivos utilizan como fuente de energía a la radiación solar, cuyos rayos ingresan a través de un vidrio al interior de una

caja sellada, calentando el aire en su interior, misma que al entrar en contacto con el alimento será deshidratado de forma pasiva [5].

Para que una estufa solar sea considerada como una alternativa viable para deshidratar alimentos se debe tener en consideración que: i) el aire en el interior de la caja de secado alcance una temperatura (T) de al menos 45 °C que permitirá al alimento deshidratarse y 60 °C para neutralizar patógenos, ii) 28 % de Humedad Relativa (HR) que ralentizará la actividad de descomposición microbiana del alimento [6], iii) para que la estufa sea funcional se recomienda que sea instalado en zonas con alta radiación solar, de al menos de 500 W*m² [7], iv) en la caja de secado, utilizar materiales como acero inoxidable la inocuidad del alimento que será consumido [8].

Si bien, la adquisición de una estufa solar ha mostrado ser una propuesta prometedora en la preservación de alimentos, su costo oscila entre los 50 a 1000 dólares americanos limitando su acceso para la mayoría de la población [9]. Esta problemática ha sido abordada sustituyendo parte de los elementos de la estufa solar por otros más asequibles, por ejemplo, Solís et al. en [10] construyeron una estufa solar con paredes de concreto y recubrimiento de poliestireno para el secado de bloques de madera. Terres et al. en [11] elaboraron una caja de madera con recubrimiento de papel aluminio comercial para el secado de papa. Mientras que, Terres et al. en [12] retomó la propuesta de [11] e incorporó deflectores internos en la cámara de secado.

Por tanto, este trabajo propone el diseño, conceptualización y construcción de estufas solares elaborados con materiales de reciclaje para la deshidratación de alimentos endémicos en el estado de Colima.

2. METODOLOGÍA

El diseño, conceptualización y análisis de datos de los prototipos se realizaron en el departamento de Ciencias Básicas y departamento de Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Colima, México. Los detalles de cada etapa se describen a continuación.

Cámara de secado

Se evaluaron dos cajas de secado elaboradas con materiales de reciclaje (hielera de hielo seco de 31 x 35 x 30 cm y caja de huacal de plástico de 60 x 40 x 15 cm) en sustitución de las estructuras de acero inoxidable para así minimizar el costo de los prototipos y aprovechar materiales de descarte. La caja de hielo seco (HS) fue recubierta con papel aluminio comercial y fijada contra las paredes de cada caja con cinta adhesiva canela. Mientras que, para la caja de fruta (CF), se elaboró con un recubrimiento de cartón de 5 mm en la superficie interior de plástico seguida por uno de aluminio comercial. En ambos casos, como superficie de incidencia de radiación solar, se eligió vidrio de 5 mm de grosor.

Sistema de aislamiento térmico

Para el sistema de retención de calor, se emplearon latas de aluminio de 355 ml con recubrimiento de color oscuro, mismas que fueron lavadas con agua, jabón y cloro y secadas por exposición solar para eliminar restos orgánicos. A continuación, se retiró la lengüeta de cada lata y con apoyo de cinta aislante canela se selló cada tapa de la lata. Finalmente, cada lata fue sumergida en agua y se aplicó presión ligera hacia su interior para evaluar si se detectaba fuga en el sellado, en caso de que observaran burbujas, se retiró el sello y se repitió el procedimiento de secado y sellado hasta no observar burbujas.

Sensado, monitoreo y almacenamiento de datos

En la recolección de los datos, se empleó un sensor de HR y T marca Onset modelo HOBO, el cual se ubicó en dirección opuesta a la incidencia de los rayos solares en el centro de la caja de secado. Referente a las propuestas experimentales se evaluó la caja vacía (control), respecto a las 6 y 12 latas de aluminio de volumen de 355 ml selladas con cinta ubicadas en el interior de la cámara de secado y se expuso al sol durante 24 horas donde se registró la HR y T respecto al tiempo medido cada 10 minutos en formato .xls para su posterior análisis.

Escenarios experimentales

Se evaluó como cámaras de secado una caja vacía (control), respecto a las 6 y 12 latas de aluminio de volumen de 355 ml selladas con cinta ubicadas en el interior de la cámara de secado y se expuso al sol durante 24 horas donde se registró la HR y T respecto al tiempo medido cada 10 minutos. A continuación, se seleccionó la caja que registró mayor retención de temperatura y se incorporó en el interior de las latas 25 % de volumen con materiales absorbentes de calor (tierra y grava) y se comparó su desempeño respecto a las latas vacías. Finalmente, se propuso un esquema de optimización que permitiera reducir la pérdida de calor en el interior del secador de tipo caja.

Análisis de datos

Cada experimento se realizó de 0 a 24 horas con un registro de datos históricos de HR y T cada 10 minutos. Al finalizar cada experimento, cada elemento de la estufa solar se retiraba y, en caso de existir humedad, ésta se absorbía con servilletas desechables de cocina y se preparaba el siguiente experimento. Respecto al dispositivo HOBO, este sensor se retiraba de la caja de secado y, a través de una conexión tipo USB, se transfirieron los datos históricos en formato .xlsx hacia una computadora portátil.

El procesamiento y análisis de los datos, se eligió al lenguaje de programación Python disponible en la plataforma gratuita Google Colab donde se construyeron diagramas de cajas y bigotes que representan la distribución de los datos recolectados como: i) la extensión de los cuartiles para identificar la concentración de los datos, ii) localizar datos atípicos que pudieran asociarse a potenciales fugas de HR o T durante la experimentación, identificar la variabilidad de cada experimento, iii) comparar la distribución de datos de cada experimento y con esto establecer la viabilidad de secado del tipo de alimento de origen animal o vegetal. Como siguiente etapa, se evaluó la tasa de liberación de HR y T, a través de la ecuación de recta tangente, para establecer qué tipo de estufa solar se recomienda con base al porcentaje de agua del alimento y temperatura de secado. Finalmente, se realizó la prueba de valor-P de cada experimento para determinar que los datos recolectados no son producto del azar.

3. RESULTADOS

Concluida la etapa de elaboración de las cajas de secado, sistemas de aislamiento térmico y acoplamiento del sensor de HR y T, se realizaron los experimentos de CF y HS en el municipio de Cuauhtémoc, Colima. Los detalles de cada experimento se muestran a continuación:

Selección del tipo de material de caja de secado y sistema de aislamiento térmico

Como primera etapa se analizó la cámara de secado y con base al mejor desempeño, desarrollar las siguientes etapas de mejora del prototipo. La HR y T de los experimentos desarrollados se muestran en la Figura 1 y 2.

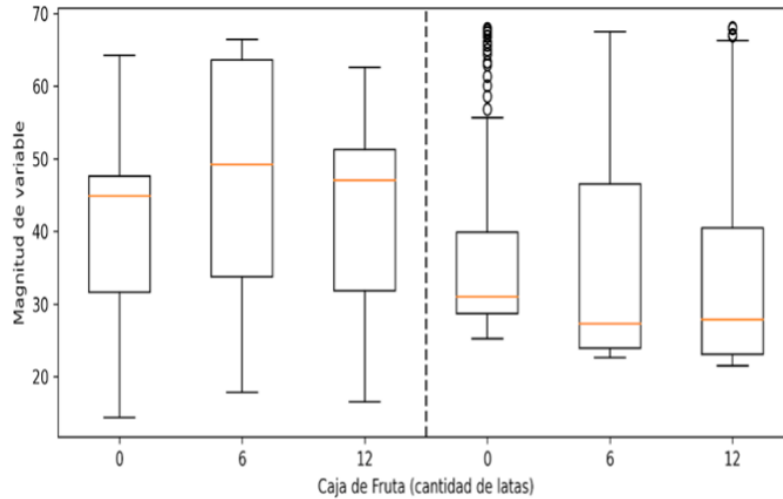


Figura 1. Diagrama de caja y bigotes registrados de humedad relativa y temperatura en el interior de la caja de secado de caja de fruta con diferente cantidad de latas

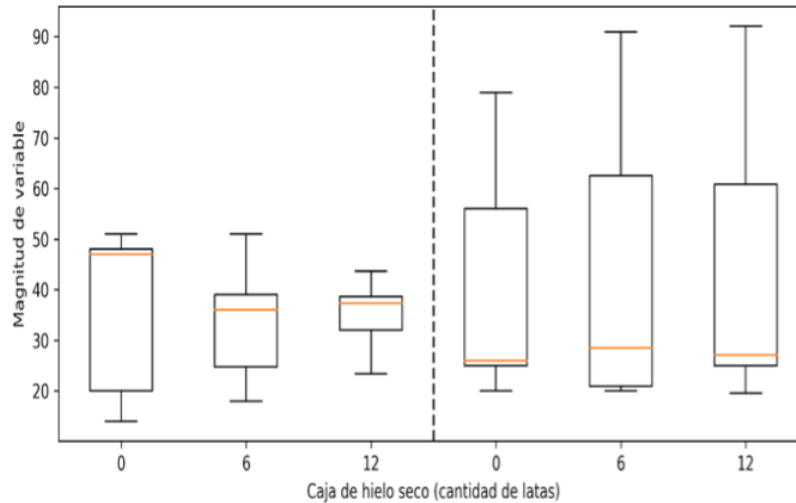


Figura 2. Diagrama de caja y bigotes registrados de humedad relativa y temperatura en el interior de la caja de secado de hielo seco con diferente cantidad de latas

La Figura 1 y 2 muestran el desempeño de HR y T en el interior de las cámaras de secado y material para retención de calor. Al evaluar solo la caja de secado, se observaron datos atípicos en CF en el registro de T, esto indica que el sistema tiene fugas, limitando su capacidad de retención de calor. Por otro lado, la extensión del cuartil 1 al cuartil 3, se observa que, para la HR la anchura de caja se encuentra entre los 32 y 48 % respecto a los 12 a 48 %. Referente a T se observa una extensión de caja de CF inferior respecto a HS, mientras que, al evaluar Tmax se observó que CF alcanzó 55 °C respecto a los 80 °C de HS. A continuación, se incorporó un sistema de retención de calor con 6 y 12 latas en el interior de las cajas de secado donde se observó que, al incrementar la cantidad de latas la HR se redujo en ambas cajas de secado, pero no mostró una diferencia significativa al evaluar la temperatura.

Incremento de temperatura y minimización de humedad relativa con medios pasivos

Identificada a HS como la mejor alternativa como estufa solar, se evaluó la incorporación de materiales de desecho en el interior de las 6 latas, con el objetivo de incrementar la temperatura en el interior de la cámara de secado. Así también como el aislamiento del vidrio receptor de energía solar para minimizar la pérdida de calor al iniciar el atardecer. El desempeño de los experimentos se muestra en la Figura 3 y 4.

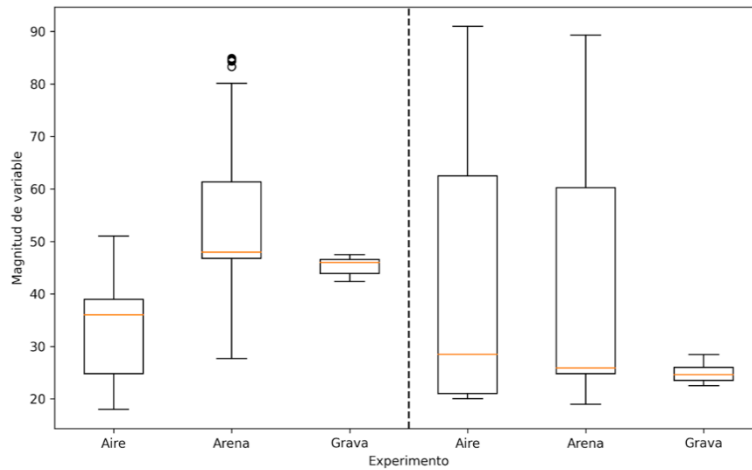


Figura 3. Diagrama de caja y bigotes registrados de humedad relativa y temperatura en el interior de la caja de secado de hielo seco con diferentes materiales para retener calor

En el panel de la izquierda de la Figura 3 se observa que, en promedio, el aire contenido en la lata es menor respecto a las otras dos propuestas de materiales. Por otro lado, la arena incrementó hasta un máximo de 80 % de humedad respecto a los otros dos experimentos, mientras que, la grava mostró menor variabilidad con una anchura entre el primer y tercer cuartil de 6 unidades respecto al aire contenido en la lata con 15 % y arena con 25 %. Al evaluar T, se identificó que la grava absorbe el calor en el interior de la estufa solar, reduciendo la temperatura hasta 30 °C respecto a los 92 y 91 °C registrados con el aire y la arena, mismos que reportan una distribución de datos cercana. A continuación (Figura 4), se reporta la incorporación de un medio físico sobre la superficie del vidrio reflector para evaluar el desempeño de la estufa solar.

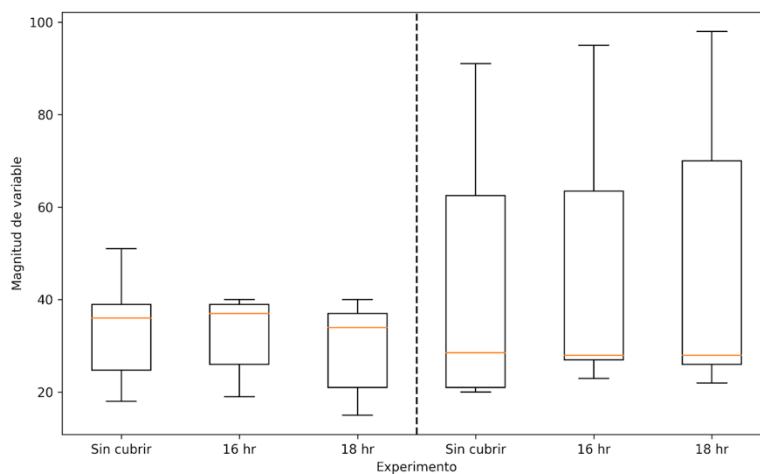


Figura 4. Diagrama de caja y bigotes registrados de humedad relativa y temperatura en el interior de la caja de secado de hielo seco cubriendo el vidrio reflector

La Figura 4 se muestra cómo afecta el recubrir con una caja de cartón recubierta de papel aluminio al vidrio reflector a las 16 horas y 18 horas. Los resultados de HR (panel izquierdo) muestra que, en los tres casos la humedad relativa promedio son cercanos entre sí (34%), no obstante, el experimento que fue cubierto a las 18 horas reportó menor HR respecto a las otras pruebas. En cambio, al evaluar la temperatura (panel derecho) se observa un comportamiento análogo al identificado para la HR.

Desempeño de la estufa de secado en condiciones adversas

Se realizó un experimento con clima nublado para determinar si cumple con las características de una estufa solar. La HR y T registrada respecto a un día soleado se muestra en la Figura 5.

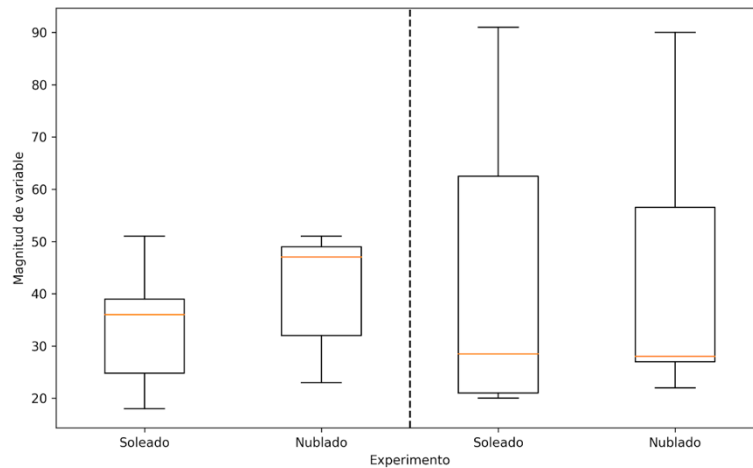


Figura 5. Diagrama de caja y bigotes registrados de humedad relativa y temperatura en el interior de la caja de secado de hielo seco en día soleado y nublado

La Figura 5 muestra la relación de HR y T de un día soleado y nublado para establecer la viabilidad de esta propuesta sea independiente del clima. En el panel de la izquierda se observa 48 % de HR respecto a 38 % para el día nublado, así como un incremento de casi 12 % en HR promedio, aunque la mínima es de 18 y 25 %, valores referenciados como viables para el secado de alimentos. Mientras que, en el panel derecho se observa que la temperatura promedio (32 °C) y máxima (91 °C) en ambos días fueron semejante, la anchura de la caja en el día soleado es superior.

Tasa de cambio de liberación de humedad relativa y temperatura

Con base en los resultados previos, es posible clasificar a la estufa solar para la deshidratación de alimentos a una temperatura entre 60 a 70 °C empleando CF y 90 a 98 °C con HS. No obstante, se requiere determinar la tasa de cambio de las variables evaluadas y establecer cuál prototipo libera calor y humedad en menor tiempo. Para lograrlo, en cada experimento, se eliminaron los datos atípicos registrados en los diagramas de cajas y bigotes y se calculó la ecuación de recta pendiente descrita en la Ecuación 1.

$$\Delta v = \frac{v2-v1}{t2-t1} \tag{1}$$

donde v1 y v2 es la magnitud de la variable con el registro máximo y al finalizar el sensado de los datos (23:50 horas), respectivamente. Mientras que, t1 y t2 corresponden a la hora registrada de dichos eventos. La Figura

6 muestra la tasa de cambio de humedad relativa y de temperatura de cada prototipo evaluado para establecer qué prototipo muestra mayor retardo en liberar calor a la par de eliminar mayor cantidad de HR después de la máxima incidencia solar.

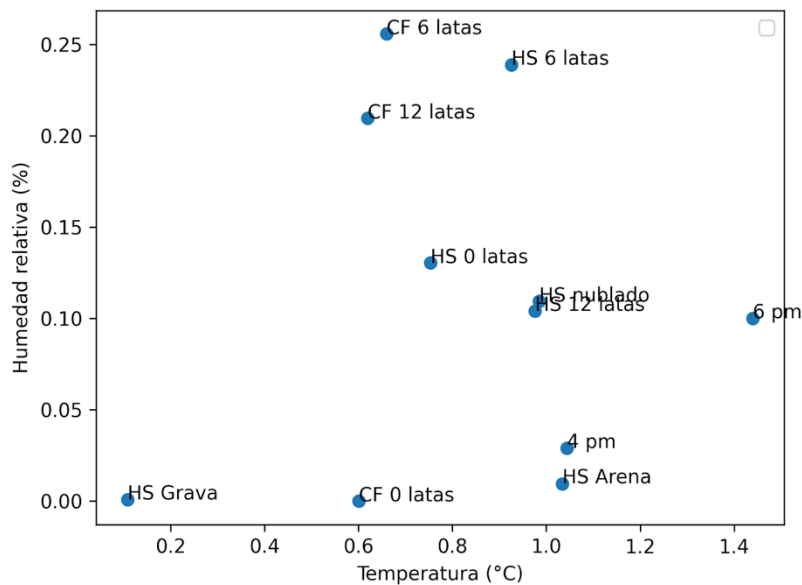


Figura 6. Diagrama de dispersión de la tasa de cambio de humedad relativa y temperatura de todos los prototipos

A partir de la Figura 6, es posible determinar que si se desea que la estufa solar elimine el mayor porcentaje de humedad a la par de retener la mayor temperatura en su interior, la Figura 6, muestra que HS con 6 latas en la mejor alternativa. Mientras que, si el alimento tiene baja velocidad de descomposición puede emplearse CF sin latas para optimizar espacio. Referente al desempeño de la estufa solar en días nublados, es posible el secado de alimentos que requieran alto tiempo de secado pero sean tan sensibles a la descomposición, por ejemplo, los charales [13].

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo, propone vía experimentación, la propuesta de diseño de estufas solares construidos con materiales de reciclaje, para el secado de alimento de origen animal y vegetal endémicos del estado de Colima, México. Las cajas elaboradas con material de reciclaje elaboradas con un huacal y hielo seco cumplen con los requerimientos de almacenamiento de calor y humedad relativa para ser considerados como una estufa solar de pared, incluyendo días nublados.

Asimismo, se incorporaron latas de aluminio con diferentes materiales en su interior con el objetivo de ralentizar la liberación de calor, al concluir la irradiación solar sobre el vidrio reflectante. Los resultados mostraron la viabilidad de esta propuesta para ciertos alimentos endémicos de Colima como uvas, fresas, limones, tilapias, charales y huachinangos.

Referente a los alimentos que pueden ser secados, se observa que la uva contiene 80 % en agua, la temperatura de secado es de 55 °C [14] y tiene una baja tasa de velocidad de descomposición, puede emplearse HS Arena y HS con 6 latas cubriendo el vidrio reflector a las 4 pm. Los alimentos con alta facilidad de descomposición, como la fresa que contiene 80 % de agua y la temperatura de secado de 65 °C [14] se recomienda que el sistema

de secado sea de baja humedad como el reportado por el experimento se recomienda la estufa solar de CF o HS ambos con 6 latas con aire en el interior de la caja de secado. Por otro lado, si se plantea el secado de cítricos que contienen de 80 a 90 % de agua y requieren que la temperatura de secado sea de 45 a 60 °C [15], HS con 6 latas que contienen grava, ya que es bajo los requerimientos térmicos para el secado del alimento. Mientras que, los pescados endémicos de Colima como tilapia, huachinango y sierra contienen de 70 a 80 % en agua con una temperatura de secado de 40 a 50 °C [16] tornando la opción de HS con 6 latas cubriendo el vidrio reflector a las 6 pm como la mejor alternativa ya que se preservará por mayor tiempo la temperatura en el interior de la caja de secado.

Finalmente, se evaluó el valor-P para a cada experimento con y sin datos atípicos. Los resultados mostraron en todos los casos de estudio una magnitud inferior a 0.05, es decir, se comprueba con una certeza del 95 % no son producto de la casualidad.

Como trabajo a futuro, se plantea utilizar la cámara de secado de la estufa como fuente de reservorio de calor para suministrar aire caliente hacia un secador de tipo tunel que es empleado en Colima para la deshidratación de coco y yaca en el municipio de Armería, Colima.

REFERENCIAS

- [1] BAMX. 2023. *Informe Anual 2022*. Bancos de Alimentos de México. México.
- [2] SEMARNAT. 2022. *Prevención y reducción de la pérdida y desperdicios de alimentos en América del Norte*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- [3] SEECO. 2023. *Data México, Colima*. Secretaria de Economía, México.
- [4] CONEVAL. 2023. *Boletín institucional CONEVAL*. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México, México.
- [5] McCabe W. y Smith, J. 2006. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Editorial Mc GrawHill, México.
- [6] Fodor, E. 2010. *The solar food dryer*. New Society Publisher. New York, USA.
- [7] Iglesias Díaz, R., José Gómez, R., Lastres Danguillecourt, O., López de Paz, P., Farrera Vázquez, N. e Ibáñez Duharte, G. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8: 1719-1732.
- [8] Condorí, M. Á. 2002. Diseño y construcción de secadores solares destinados a la producción de carne deshidratada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 6: 25-30.
- [9] Liyew, K., Habtu, N., Louvet, Y., Guta, D., y Jordan, U. (2021). Technical design, costs, and greenhouse gas emissions of solar Injera baking stoves. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 149, 392-420.
- [10] Solís Rodríguez, L., Cerón Cardeña, M., González Ahumada, I. 2003. Diseño y operación de una estufa solar para secar madera. *Ingeniería*. 7, 35-48.
- [11] Terres-Peña, H. y Quinto-Diez, P. 2003. Applications of numerical simulation of solar cooker type box with multi-step inner reflector. *Proceedings of ISEC 2003, International Solar Energy Conference, Hawaii, USA*.
- [12] Terres-Peña, H. Lizardi-Ramos, A., López-Callejas, R., Vaca-Mier, M. 2017. Caracterización numérica de una estufa solar tipo caja con reflectores interiores durante el proceso de cocción de papa. *Revista de Prototipos Tecnológicos*. 3, 9 24-33.
- [13] Barba Marino, R. 2019. *Alimento alternativo para camarón blanco, Litopenaeus vannamei, utilizando insumos de origen vegetal y animal del estado de Guerrero*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Guerrero, México.
- [14] De Michelis, A., y Ohaco, E. (2012). *Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (ed.), pp. 14. Medellín, Colombia.
- [15] Alméciga Ramírez, C. J. 2021. *Revisión sistemática de literatura acerca de rutas de valorización de residuos cítricos*. Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes, Colombia.
- [16] Sánchez Torres, J., y Lam, R. (1965). *Principios técnicos de salado y secado del pescado*. Estudio químico de la sal en el litoral. Instituto del Mar del Perú, Perú.

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