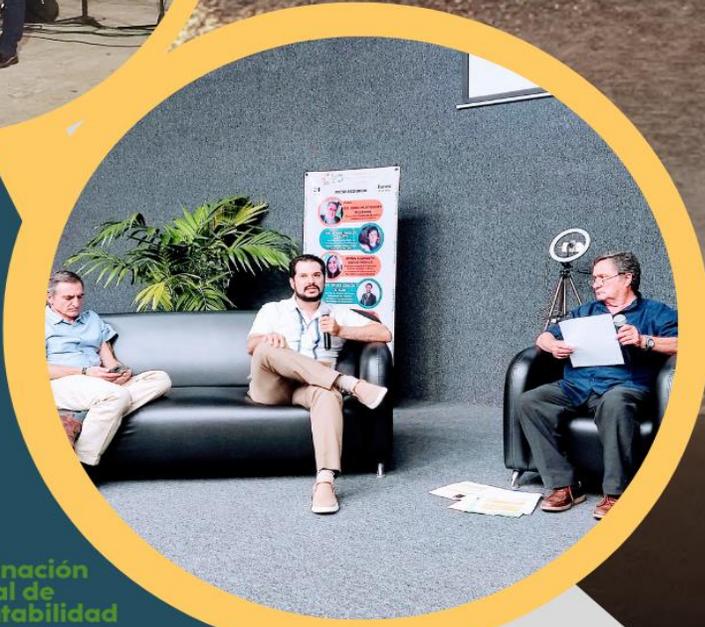




LA ENERGÍA SOLAR EN LOS ALIMENTOS: AVANCES EN IBEROÁMERICA



Coordinadores:
José Rubén Martínez Paredes
Margarita Castillo Téllez
Beatriz Castillo Téllez







La Energía Solar en los Alimentos: Avances en Iberoamérica

Coordinadores

José Rubén Martínez Paredes
Coordinación General de Sustentabilidad Yuum K'áax
Universidad Autónoma de Campeche

Margarita Castillo Téllez
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Campeche

Beatriz Castillo Téllez
Universidad Autónoma de Guadalajara



CONTENIDO

1	Deshidratador con colector solar de aire caliente.....	8
2	Secado de betabel (<i>Beta vulgaris</i> L.) en secador solar con modulación de irradiación dinámico	15
3	Secador solar con control de irradiación dinámico	23
4	Isoterma de adsorción a 25°C de tomate cherry deshidratado mediante un deshidratador solar	30
5	Horno solar Heider	42
6	Chapulines al Sol: El Secreto de la Nutrición Sostenible.	49
7	A review of inflatable solar dryers for drying fruits, vegetables, and grain	59
8	Secado solar de hierba santa (<i>Piper auritum</i> Kunth) con ayuda de un secador solar tipo invernadero.	65
9	Secado solar de masa de maíz para harina artesanal en las altas montañas de Veracruz.....	72
10	Optimización de un deshidratador solar mixto tipo túnel, con pruebas de agua y simulación numérica	80
11	Cocina Solar Parabólica.....	88
12	Secado solar de hojas de ruda (<i>Ruta graveolens</i>) mediante un secador mixto tipo gabinete	96
13	Optimización de parámetros de una caja de almacenamiento térmico: un estudio numérico basado en el método gráfico	104
14	Deshidratador solar de productos gastronómicos	112
15	Producción de agua potable y aire seco por condensación de humedad en el aire atmosférico de zonas tropicales.....	121
16	Construcción y caracterización de un deshidratador Solar de alimentos en Tonalá, Jalisco, México.....	129



17	Secado de granos de cacao en un secador solar inflable.....	136
18	Análisis de poligeneración de energía para el calentamiento de agua en el tratamiento térmico de mango de exportación en el sur de Sinaloa.....	144
19	Ensayos de caracterización de cocina solar fotovoltaica sin electrónica ni batería.....	151
20	Comparación financiera entre una cocina solar de reflector parabólico focal y una estufa eléctrica de inducción para la cocción de proteína para consumo humano.....	159
21	Deshidratador solar térmico.....	166
22	Análisis paramétrico de un secador solar de bagazo de agave tequilero.....	176
23	Development of a mobile device using solar thermal and PV for vegetable dehydration.....	184
24	Análisis termodinámico de la concentración solar para cocimiento de alimentos.....	191
25	Análisis técnico, económico y ambiental de un secador solar térmico-fotovoltaico con almacenamiento térmico.....	197
26	Estudio de corrosión del acero inoxidable 304 en LiCl.....	205
27	Comparativo del desempeño térmico de dos secadores tipo túnel con hibridación de tecnologías solares.....	213
28	Implementación de una Planta de secado solar como alternativa sustentable para las comunidades pesqueras del Estado de Campeche.....	222
29	Aprovechamiento de Residuos de Pescado para la Obtención de Subproductos Usando Tecnología Solar - Caso Actual de México...	230
30	Análisis del comportamiento térmico de un secador tipo túnel con hibridación de tecnología solar.....	238
31	Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta comunitaria para el secado de productos pesqueros y acuícolas.....	246



32 Propuesta de proceso de deshidratado de productos pesqueros en un secador solar tipo túnel..... 255

33 Estudio experimental y evaluación del comportamiento térmico en cocinas solares tipo caja en un clima cálido-húmedo 268

34 Sanidad e inocuidad: Codex Alimentarius y normatividad alimentaria..... 275

35 Diseño y construcción de un sistema de secado solar agroindustrial, móvil, autónomo y autocontenido. 283

36 Horno solar Heider..... 292

37 Secado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott) utilizando un secador solar tipo gabinete y un deshidratador eléctrico para formulación de harina compuesta..... 299

38 Extracción de aceite esencial de orégano *Lippia berlandieri* mediante un sistema híbrido con cocción solar-eléctrica 306

39 Análisis del estado del arte para determinar la viabilidad tecnológica de utilizar la energía solar térmica en el secado de la producción agrícola en el estado de Campeche. 314



1 Deshidratador con colector solar de aire caliente

¹Fátima Herrera-Mariscal, ¹Rosa Gutiérrez-Olivares, ¹Alan Cervantes-Vázquez,

¹Beatriz Castillo Téllez*, ²Margarita Castillo Téllez

^a Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara.

*Autor de correspondencia: beatriz.castillo@academicos.udg.mx

Resumen

El proyecto fue creado con el fin de optimizar un deshidratador solar comercial de la marca "Drybox", implementando un colector solar de aire caliente accesible y de bajo costo.

El proyecto se divide en 3 etapas, inicialmente se caracterizó el deshidratador comercial, en la segunda etapa se creó el colector utilizando madera, tubería de cobre y policarbonato, en la última etapa se adaptó el colector al deshidratador y nuevamente se realizó una caracterización. En todas las pruebas el tubérculo deshidratado fue jícama. Las pruebas fueron realizadas en el Centro Universitario de Tonalá.

Los resultados experimentales mostraron que el deshidratador con el sistema de aire caliente obtuvo mayores temperaturas alcanzando una máxima de 94°C, mientras que el deshidratador comercial tuvo una máxima de 70°C.

Introducción

La jícama es una planta herbácea de la familia Fabaceae, es originaria de México y América Central donde se encuentra ampliamente distribuida, fue cultivada por la mayoría de las civilizaciones prehispánicas de México. El nombre de la jícama es derivado de la palabra náhuatl "Xicamatl" que significa "raíz acuosa de ombligo". En México se le encuentra abundantemente en los mercados y es una especie de importancia comercial, debido a su alto consumo local. Desde el punto de vista socioeconómico el cultivo de jícama es una importante opción para muchas familias de escasos recursos, además de ser un cultivo de bajo costo y buena rentabilidad, éste puede generar fuentes de empleo necesarios para muchas regiones del país. Por otro lado, la deshidratación solar es la forma más antigua y sana de conservar alimentos, es un proceso de conservación que consiste en eliminar el agua libre en los alimentos y se logra con la aplicación de calor, en este caso utilizando el calor del sol. Las ventajas de los alimentos deshidratados son ampliamente conocidas, ya que



al reducir el contenido de humedad se evita la proliferación de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran. El secado de los alimentos reduce su volumen y peso, lo que influye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo.

Metodología

El desarrollo de este proyecto se encuentra dividido en 3 etapas. En la primera de ellas, se realizó la caracterización del deshidratador "Drybox", donde fue posible capturar datos como temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento, peso inicial, peso final, así como diferentes fotografías térmicas, la toma de datos fue realizada cada 10 minutos y durante 4 horas (11:50 a 15:50), aprovechando las horas donde la radiación solar incide con mayor fuerza.

En la segunda etapa se llevó a cabo la elaboración del captador solar hecho con madera, tubería de cobre y una capa de policarbonato, posteriormente fue adaptado al deshidratador.

En la última etapa se realizó una nueva caracterización ahora con el deshidratador y el captador solar. Los datos registrados fueron los mismos que se mencionaron en la primera caracterización, también se realizó por 4 horas (10:10 a 14:10) e igual que la caracterización anterior, los parámetros fueron registrados cada 10 minutos.

Con el fin de determinar el porcentaje de humedad presente en el alimento se empleó una termobalanza, este proceso fue hecho con jícama previamente deshidratada y con jícama fresca. Los datos se capturaron cada 10 minutos.

Caracterización 1

Pruebas realizadas en el deshidratador "Drybox"

07 de septiembre de 2023.

e	Temperatura	Humedad	Radiación angular	Radiación horizontal	Velocidad del viento
11:50	34°C	66%	558.5	604.2	1.24 m/s
12:00	49°C	62%	917.6	985.7	1.41 m/s
12:10	57°C	57%	897.2	1104.1	1.46 m/s
12:20	63°C	40%	822.6	900.5	1.94 m/s
12:30	61°C	38%	994.6	1029,1	0
12:40	62°C	38%	1101.9	1100.4	1.21 m/s
12:50	67°C	34%	1194.2	1201.1	0
13:00	68°C	33%	1218.3	1052.6	1.16 m/s
13:10	59°C	32%	523.1	755.3	1.37 m/s
13:20	63°C	27%	1107.3	1124.5	0



13:30	70°C	26%	1017.3	1201.1	1.17 m/s
13:40	70°C	18%	1178.5	1134.5	1.39 m/s
13:50	70°C	20%	1040.6	1106.9	3.04 m/s
14:00	70°C	19%	1068.3	1085.4	0
14:10	70°C	19%	446.5	560	0
14:20	70°C	19%	698.5	919.1	1.16 m/s
14:30	70°C	19%	956.2	1048.5	0
14:40	70°C	18%	923.8	1006	0
14:50	70°C	16%	956.5	1031.1	1.23 m/s
15:00	70°C	16%	629.2	854.3	0
15:10	68°C	16%	433.3	600.3	1.24 m/s
15:20	66°C	18%	1041.3	959.9	0
15:30	70°C	13%	793.4	759.2	0
15:40	64°C	15%	407.2	428.4	0
15:50	57°C	19%	532.3	545.8	0

Tabla 1 Mediciones obtenidas el 7-09-2023.

Peso inicial: 71.5 g

Peso final: 12.9 g

Elaboración del captador solar

El captador solar fue elaborado con madera de pino pintada de negro, cuyo interior está compuesto por 11 tubos de cobre de 1/2 pulgada y 75 cm de altura, los mismos tienen un recubrimiento de pintura negra mate. Asimismo, cuenta con una cubierta de policarbonato. Las dimensiones del captador son las siguientes: 70 centímetros de largo, 60 centímetros de ancho y 10.5 centímetros de alto.



Ilustración 1 Deshidratador con captador solar.



Ilustración 2 Interior del captador solar.

Caracterización 2

Pruebas realizadas con el deshidratador y el captador solar.

18 de septiembre de 2023



Hora	Temperatura	Humedad	Radiación angular	Radiación horizontal	Velocidad del viento
10:10	27°C	61%	499.4	691	0
10:20	42°C	42%	658.3	731.8	1.35 m/s
10:30	43°C	38%	645	881.2	0
10:40	51°C	30%	516.6	443	1.17 m/s
10:50	54°C	25%	703.3	973.6	0
11:00	52°C	25%	621.8	975.7	0
11:10	54°C	24%	688.3	926.7	0
11:20	60°C	20%	938.1	1043.6	1.17 m/s
11:30	62°C	18%	367.8	582.3	1.26 m/s
11:40	66°C	17%	772.7	1138.7	2.04 m/s
11:50	61°C	15%	242.8	298.4	0
12:00	52°C	20%	198.7	229	1.25 m/s
12:10	48°C	23%	1114.9	1226.2	0
12:20	60°C	18%	871.4	1068.8	0
12:30	66°C	15%	1011.4	1132.1	0
12:40	69°C	12%	1135.5	1179.9	0
12:50	70°C	11%	1011.5	1182.1	1.36 m/s
13:00	70°C	11%	1081.1	648.3	0
13:10	76.8°C	11%	1041.2	1179.1	0
13:20	76°C	11%*	1022.6	1242.2	0
13:30	78°C	11%*	1006.9	1230	0
13:40	88.9°C	11%*	1019.9	1229.4	0
13:50	94°C	11%*	855	1166.7	1.4 m/s
14:00	93°C	11%*	1036.2	1131.6	0
14:10	92.8°C	11%*	979.8	1139	1.83 m/s

Tabla 2 Mediciones obtenidas el 18-09-2023.

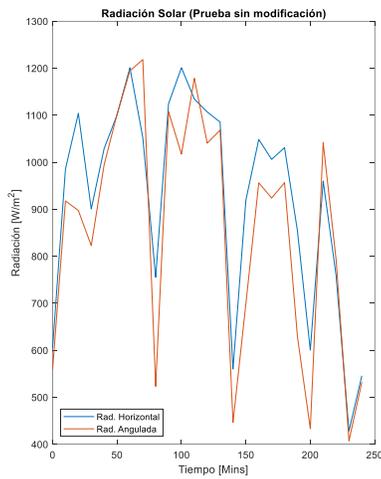
*El termohigrómetro llegó al rango de medición aceptable, por lo que se conservó la última medición.

Peso inicial: 113.6 g

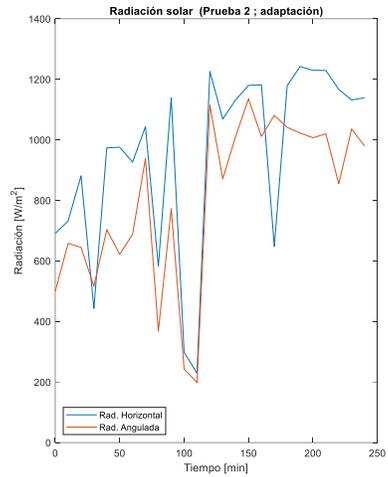
Peso final: 11.9 g



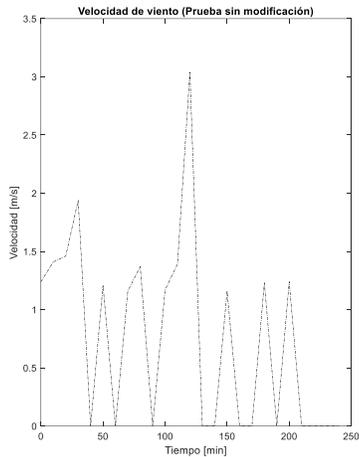
Resultados



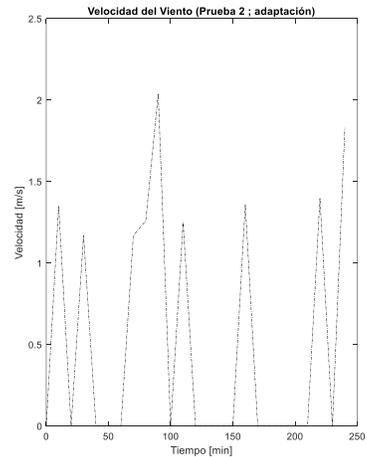
Gráfica 1 Radiación solar (prueba sin modificación)



Gráfica 2 Radiación solar (prueba con modificación)

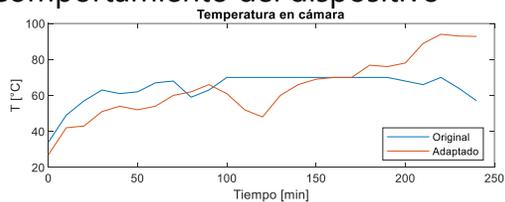


Gráfica 3 Velocidad del viento (prueba sin modificación)

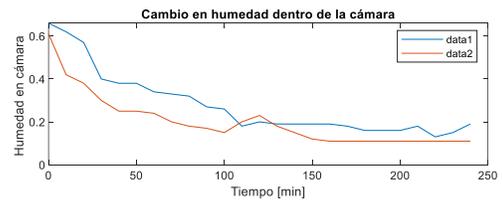


Gráfica 4 Velocidad del viento (prueba con modificación)

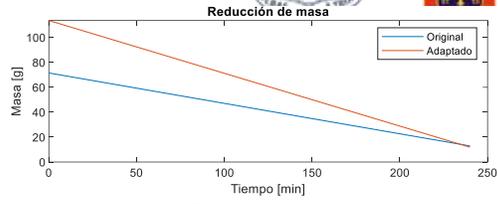
Comportamiento del dispositivo



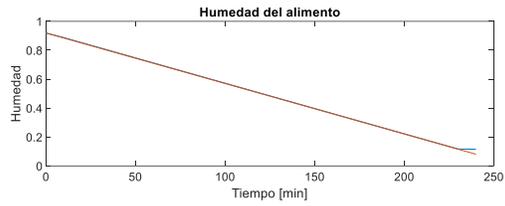
Gráfica 5 Temperatura en la cámara



Gráfica 6 Cambio de humedad



Gráfica 7 Reducción de masa



Gráfica 8 Humedad en el alimento



Gráfica 9 Relación humedad de alimentos - humedad retirada



Conclusión y resultados

En lo que respecta a la evolución de la temperatura en la cámara de secado, en el deshidratador original, la temperatura fluctúa, con múltiples aumentos y descensos, seguidos de un período de estabilidad y posteriormente un declive. En el caso del deshidratador adaptado, el proceso se inicia con una temperatura de 27°C y experimenta un ascenso gradual. Después de 90 minutos, alcanza los 66°C, momento en el cual se produce una interrupción en el proceso debido al paso de nubes, que afecta la temperatura durante 40 minutos. A partir del minuto 140, la temperatura nuevamente llega a 66°C. Entre los minutos 150 y 220, se registran incrementos significativos, finalizando con un valor máximo de 94°C.

En el deshidratador original, la jícama presentó un peso inicial de 71.5 g, reduciéndose a 12.9 g, lo que representa una pérdida de aproximadamente el 82% del peso inicial. Por otro lado, en el deshidratador adaptado, la jícama tuvo un peso inicial 113.6 g y finalizó con un peso de 11.9 g, disminuyendo cerca del 90% del peso original.

Los resultados experimentales demostraron que el deshidratador solar con colector resulta ser más eficiente que el convencional.

Bibliografía

CII-ASDENIC, Red CAN, UCA San Ramón, PRODECOOP, VIDA A.C, UIMQROO. (2015). Manual de deshidratación. Soberanía y Seguridad Alimentaria Nutricional.

Reyes-Matamoros, J., Martínez-Moreno, D., Rueda-Luna, R., & Maldonado-Morales, A. (2016). Prevención de plagas y prácticas culturales en jícama en la comunidad de Alpoyeca, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.

Velásquez Velásquez, V. D. (2007). Estandarización del Proceso de Secado de Carragenina en la Empresa Extractos Naturales Gelymar SA (Doctoral dissertation, Tesis de licenciatura).



2 Secado de betabel (*Beta vulgaris* L.) en secador solar con modulación de irradiación dinámico

Diana Paola García-Moreira, Ivan Moreno, Erick César López Vidaña^{b*}

^a Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, Universidad Autónoma de Zacatecas, 98160 Zacatecas, México.

^b CONAHCYT-Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV 110, Ejido Arroyo Seco, 34147 Durango, México.

*autor de correspondencia: erick.lopez@cimav.edu.mx

Resumen

El Betabel (*Beta vulgaris* L.) es un vegetal popular debido a que contiene atractivos compuestos como carotenoides, betalainas, polifenoles, flavonoides y saponinas. Es producido alrededor del mundo en áreas templadas, principalmente en Norteamérica, Europa, Asia y el norte de África. El método de secado aplicado afecta su color, forma, estructura y sus componentes nutraceuticos. En este trabajo se estudió el efecto del secado solar en el color, por lo que se sometió rebanadas de Betabel con el secador solar con modulación de irradiación dinámico a 750 W/m^2 y sin modulación de irradiación a 45 °C para cuantificar el impacto radiación solar controlada sobre el producto. Se registró un tiempo de secado de 360 y 420 minutos para secado sin modulación y con modulación de irradiación dinámico, respectivamente. La diferencia de color final fue de 24.12 y 34.75 para secado sin modulación y con modulación de irradiación dinámico, respectivamente. Aunque la diferencia de color es menor sin modulación de irradiancia y la velocidad de secado es mayor, en este se presentó más oscurecimiento y tendencia hacia el color amarillo. Mientras que, con modulación de irradiación dinámico presentó menos oscurecimiento y una mayor tendencia al color azul y al rojo por lo que regular la irradiancia solar en el proceso de secado del betabel se obtiene una mejor apariencia en el producto final.

Palabras clave: secado solar; betabel; control de irradiancia; secador solar.



Introducción

El betabel (*Beta vulgaris* L.), o también conocido como remolacha es un tubérculo comestible en forma de bulbo de color púrpura. El betabel es famoso por su jugo, ya que contiene propiedades medicinales ya que se encuentra en los 10 productos con más propiedades antioxidantes [1]; esto lo convierte en un excelente suplemento alimenticio ya que no solo es rico en minerales, sino que también en vitaminas y con gran cantidad de propiedades medicinales como: antioxidante, antidepresivo, antimicrobiano, antifúngico, antiinflamatorio, diurético, expectorante y carminativo [2]. El betabel, contiene una cantidad significativa de vitamina C y vitaminas B1, B2, niacina, B6, B12, mientras que las hojas son una excelente fuente de vitamina A [3]. El color rojo intenso del betabel se debe a las altas concentraciones de betalaínas, estas se utilizan como colorantes naturales en la industria alimentaria, pero también han recibido cada vez más atención debido a sus beneficios para la salud [4]. Sin embargo, las propiedades del betabel se ven afectadas cuando éste es sometido a distintos procesos; como la temperatura, presión y radiación. Paciulli et al. (2016), estudiaron la aplicación de tratamientos de alta presión hidrostática (HHP) de 650 MPa en diferentes tiempos de procesamiento (3, 7,15 y 30 min) sobre rodajas de betabel como alternativa al pretratamiento de escaldado (90 ° C durante 7 minutos). Se observó un aumento del contenido de betalaínas en las muestras tratadas con HHP, lo que resultó en un contenido 6 veces mayor en comparación con las muestras crudas, pero, cuanto mayor es el tiempo de exposición a alta presión, mayor es la degradación de los pigmentos [5]. Sánchez-Chávez et al. (2015), evaluaron la degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C al someter el jugo de betabel a 30, 40 y 50 °C en incubadoras por 110 h. Se determinó que las betacianinas y la vitamina C presentan una sensibilidad similar a la temperatura; mientras que las betaxantinas fueron más estables [6]. El color por otro lado, fue estudiado por Chandran et al., ellos realizaron cinéticas de degradación de color en puré de betabel sometido a rangos de temperatura de 50°C a 120 °C en un proceso isotérmico y también durante una cocción normal en sartén. Obtuvieron resultados que indican una degradación similar en los distintos procesos. [7].

Metodología

Materia fresca

El betabel fue obtenido en el mercado local de Guadalupe, Zacatecas, México. Durante el mes de agosto del 2023 y fue refrigerado hasta el momento de ser secado. El contenido de humedad inicial del betabel fue de 77.11% ± 1.2 (b.h.).

Descripción del secador

El Secador solar con modulación de irradiación dinámico (Figura 1) es un secador que permite regular la temperatura y modular la radiación que pasa hacia la cabina de secado mediante un sistema de control y una película inteligente (PDLC). Consiste en



un cilíndrico de acrílico transparente (colocado horizontalmente), de 0.8 m de tamaño, 0.45 m de diámetro y 0,006 m de grosor de las paredes. Los respiraderos de entrada están en la cara frontal, en la cara posterior hay un ventilador DC 12V, 0,08 m de diámetro. Dentro de la cámara de secado, hay un área horizontal de 0,001800 m³. Cuenta con dos espigueros de 6 niveles y un área total de secado de 0,5544 m². Para la comparación de secado se utilizó otro secado con las mismas características, pero sin modulación de irradiancia.

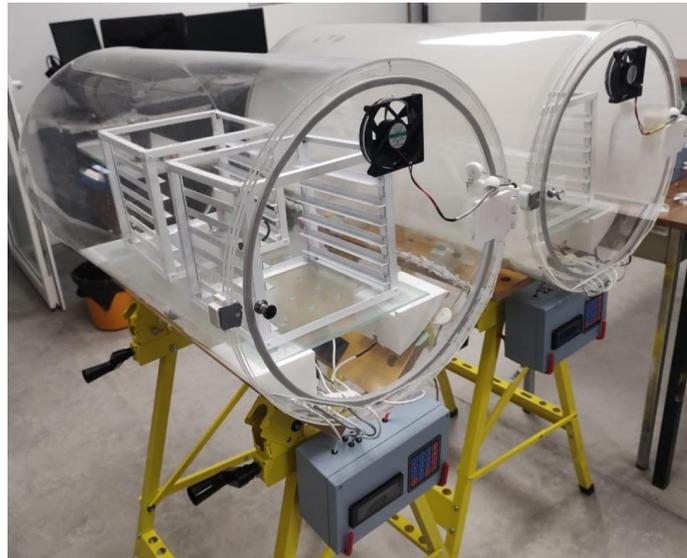


Figura 1 Secador solar cilíndrico (izquierda) y solar con modulación de irradiancia dinámica (derecha)

Procedimiento experimental

Se retiró la corteza del betabel y se hicieron cilindros de 3.5 cm de diámetro y 0.3 cm de grosor. Se colocaron aproximadamente 17 rebanadas (50 g) en cada charola y se colocaron 4 charolas en cada secador (con y sin cubierta PDLC) (Figura 2). El registro de peso fue realizado cada 20 minutos durante las primeras dos horas y posteriormente cada hora hasta concluir el secado. El proceso de secado se realizó a 45 °C en cada secador y el secador solar con modulación de irradiancia dinámica a 750 W/m².

El contenido de humedad fue obtenido mediante una termobalanza YIHUANNIBIAOYI 10^a a 105 °C con muestras de 3 g aproximadamente. El contenido de humedad en base seca fue calculado con la ecuación [8]:

$$\text{Contenido de humedad (b.s.)} = \frac{m_h}{m_s} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de materia seca}}$$

Donde m_h es masa de agua y m_s es masa seca. Los parámetros de color fueron obtenidos mediante un colorímetro LS171 y fue repicado 3 veces cada 20 minutos las primeras dos horas y cada hora el tiempo subsecuente. Los parámetros



de color fueron medidos en el espacio de color CIE L a* b* y los parámetros son expresados en términos de L (luminosidad), a* (rojo-verde), b* (amarillo-azul).



Figura 2 Secadores durante proceso de secado

Resultados

Cinéticas de secado

La Figura 3, muestra la cinética de secado del secador solar con modulación de irradiación dinámica y el secador solar cilíndrico. En ésta podemos observar como tienen una tendencia similar. Sin embargo, en el secador solar cilíndrico a las 3:30 PM alcanza 0.038 g H₂O / g s.s. de contenido de humedad del betabel. Mientras que a las 4:00 pm en el secador solar con modulación de irradiación dinámica se alcanzó un contenido de humedad de 0.039 g H₂O / g s.s. Esto se debe a que la radiación solar directa es un factor importante en el proceso de secado ya que el producto aumenta su temperatura al absorber las longitudes de onda de la radiación directa.

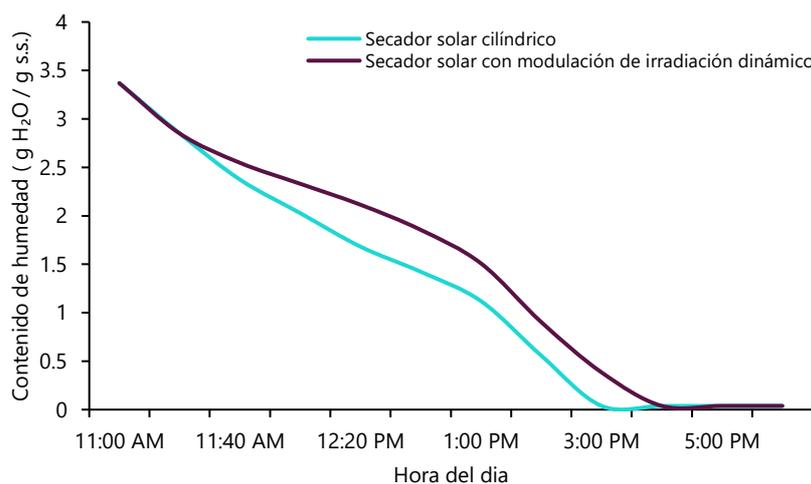


Figura 3 Cinéticas de secado de betabel

Condiciones climatológicas

Las condiciones climatológicas el día del proceso de secado presentaron una



radiación solar incidente relativamente constante de las 11:00 am a las 2:00 pm. Posteriormente se presentaron cúmulos en el cielo por lo que la radiación solar directa disminuyó, pero la temperatura ambiental se mantuvo.

En el caso de la irradiancia solar dentro de la cámara de secado, se estableció un límite de 750 W/m^2 , por lo que el secador mantuvo esas condiciones hasta que la radiación solar directa disminuyó por debajo de ese valor. En la Figura 4 se observa que la radiación en la cámara de secado no disminuyó de manera abrupta como en el exterior, esto se debe a que, al disminuir la radiación, la película adicionada mediante el sistema de control aumentó la transmitancia y dejó pasar la mayor radiación posible para mantener el proceso de secado.

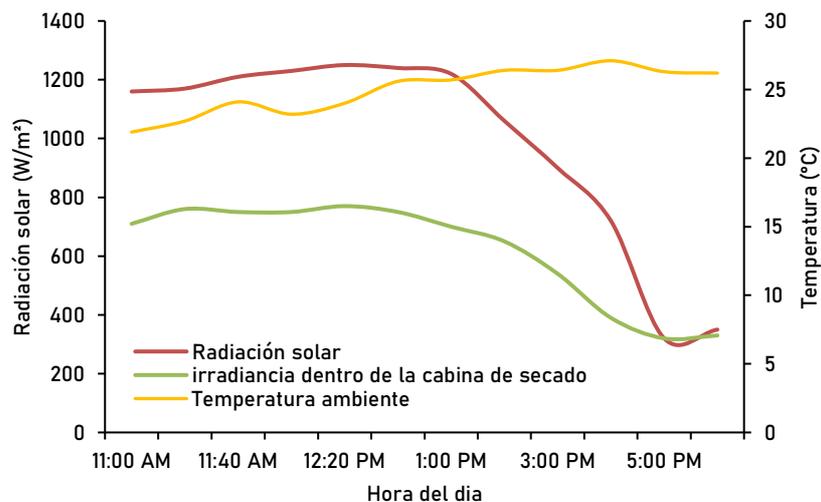


Figura 4 Condiciones operacionales durante el proceso de secado

Color final del betabel

Cuando la radiación solar incide en un objeto, éste tiende a mostrar un corrimiento al color amarillo, por lo que, para ciertos productos pudiera ser beneficioso y potenciar su color, a otros como el betabel es perjudicial. Dado que el color es un rojo oscuro, el correrse al color amarillo perdería su principal atributo. En los resultados de color obtenidos entre los dos dispositivos descritos anteriormente, se mostró un aumento en la coordenada b^* en el secador solar cilíndrico sin cubierta. (Figura 5), es decir, un corrimiento hacia el color amarillo y una disminución en su luminosidad por lo que se vuelve un color más oscuro. Esto se debe a que en la cámara de secado del secador solar con modulación de irradiancia dinámica presenta radiación solar difusa y no directa, ya que, al pasar a través de la cubierta, la radiación solar directa es transmitida en distintas direcciones.

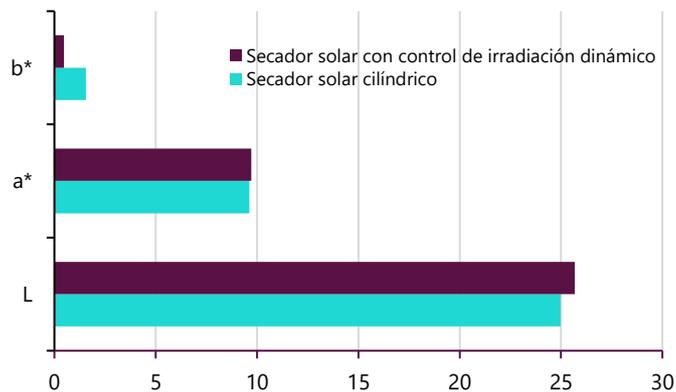


Figura 5 Color final del betabel en los distintos secadores

Conclusiones

En este trabajo se estudió el efecto del secado solar de betabel en dos secadores solares, en donde, la particularidad era la modulación de irradiación solar. El betabel se secó a 750 W/m^2 y 45°C en el secador solar con modulación de irradiación dinámico y en el secador solar cilíndrico sin cubierta PDLC a 45°C para cuantificar el impacto radiación solar controlada sobre el producto. Los resultados indican que la radiación solar directa es un determinante para el tiempo de secado, así como también el impacto directo que tiene en el color del producto, mostrando que, al ser secado a radiación directa, hay una tendencia al corrimiento del color amarillo mostrando resultados favorable en la conservación de color cuando se usa el secador solar con modulación de irradiación dinámico. Este trabajo exploratorio es prometedor en el uso de secadores solares para alimentos sensibles a la radiación solar directa.

Referencias

- [1] R. Kale , A. Sawate , R. Kshirsagar , B. Patil y R. Mane, «Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (*Beta vulgaris* L.),» *International Journal of Chemical Studies*, vol. 6, n° 2, pp. 2977-2979, 2018.
- [2] M. Yadav , H. Chawla , M. Parle y K. Sharma , «Beetroot: A Health Promoting Functional Food,» *Inventi Rapid: Nutraceuticals*, vol. 1, pp. 1-5, 2015,2016.
- [3] V. Dambalkar , B. Rudrawar y V. Poojari , «Study of physico-chemical properties and sensory attributes of beetroot-orange RTS drink,» *International Journal of Science and Research*, vol. 4, n° 10, pp. 589-594, 2015.
- [4] V. Georgiev , J. Weber , E. Kneschke , P. Denev, T. Bley y A. Pavlov , «Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact



- plants and hairy root cultures of the red beetroot (*Beta vulgaris*),» *Journal of Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 65, n° 2, pp. 105-111, 2010.
- [5] M. Paciulli, I. G. Medina-Meza, E. Chiavaro y G. V. Barbosa-Canovas, «Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris* L.),» *LWT - Food Science and Technology*, vol. 68, pp. 98-104, 2016.
- [6] . W. Sánchez-Chávez, J. Cortez-Arredondo , . M. Solano-Cornejo y J. Vidaurre-Ruiz , «Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja,» *Scientia Agropecuaria*, vol. 6, n° 2, pp. 111-118, 2015.
- [7] P. N. J. Chandran , R. S. Singhal y A. B. Pandit, «Degradation of colour in beetroot (*Beta vulgaris* L.): a kinetics study,» *J Food Sci Technol*, vol. 51, n° 10, pp. 2678-2684, 2012.
- [8] W. Mühlbauer y J. Müller, *Drying atlas; drying kinetics and quality of agricultural products*, 1st ed., United Kingdom: ELSEVIER, 2011.





3 Secador solar con control de irradiación dinámico

Diana Paola García-Moreira^a, Erick César López Vidaña^b, Ivan Moreno^{a*}

^a *Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, Universidad Autónoma de Zacatecas, 98160 Zacatecas, México.*

^b *CONAHCYT-Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV 110, Ejido Arroyo Seco, 34147 Durango, México.*

**autor de correspondencia: imorenoh@uaz.edu.mx*

Resumen

La irradiancia solar durante el proceso de secado es un factor determinante en la calidad de los productos secos debido a la fotosensibilidad que presentan la mayoría de los alimentos, debido a que la intensidad de la radiación solar podría mejorar o dañar sus características dependiendo del producto a secar. Debido a esto, se han estudiado alternativas para disminuir la irradiancia al producto con distintas cubiertas para los secadores solares o cubiertas biopoliméricas en los alimentos. Sin embargo, éstos dispositivos solo son efectivos para ciertos productos por lo que no proveen una versatilidad para la variedad de productos a secar. En este estudio, presentamos un secador solar con un control de irradiación dinámico en donde es posible modular la intensidad de la radiación dentro de la cámara de secado para ser aplicado a distintos tipos de productos a secar. Se considera que es posible establecer un parámetro de radiación mayormente constante y con la posibilidad de ser modulado dependiendo de la necesidad del producto, así como un control de temperatura dentro de la cámara de secado. De este modo, de los productos siendo ajustable para la necesidad algunos de éstos.

Palabras clave: secado solar; irradiancia solar; sistema de control; película inteligente.

Introducción

Dado que los secadores solares son eficaces y beneficiosos en términos medioambientales y de disponibilidad energética, se han realizado varios



estudios para mejorar su eficiencia térmica y de secado [1]. Es necesario analizar y optimizar el rendimiento operativo y la evaluación de los materiales de secado del sistema de secado solar. La irradiancia solar que incide sobre los productos es un parámetro importante debido a la fotosensibilidad de algunos productos, en algunos casos podría mejorar algunas de sus características o podría dañarlos. No obstante, la intensidad de la radiación solar y el tiempo de exposición llega a dañar los productos que están siendo deshidratados. La radiación UV-Vis solar afecta las propiedades de los materiales orgánicos; estos materiales están influenciados por sus tasas de degradación bajo la radiación UV-Vis solar y otros factores climáticos: temperatura, humedad y contaminantes atmosféricos. Debido a los daños en la capa de ozono estratosférico, existen aumentos en la radiación UV, especialmente en los trópicos, pero también en otros lugares debido a los efectos del cambio climático. Estos incrementos, junto con el aumento de la temperatura ambiente debido al cambio climático, pueden acortar significativamente la vida útil de la materia orgánica [2]. La relación entre la cinética de secado y la radiación solar se ha investigado en varios estudios. Aparte del aumento de la velocidad de secado debido a la radiación solar, ésta afecta directamente a las propiedades del color, ya que puede enrojecerlo o amarillearlo. Principalmente, las propiedades químicas, como los compuestos antioxidantes, se pueden ver afectadas por el efecto de los rayos UV de la radiación solar dependiendo del alimento [3]. Komonsing et al. (2022) estudiaron las diferencias en las rodajas de cúrcuma secadas en un secador de aire caliente de laboratorio con radiación solar simulada aplicada a través de policarbonato transparente con transmitancia de 390 nm con una irradiancia final de 0,6-0,9 W/m² (impermeable a los rayos UV) y cubierta de PMMA con transmitancia de 250 nm con una irradiancia final de 100-147 W/m² (permeable a los rayos UV); concluyeron que la velocidad de secado con PMMA (Polimetacrilato de metilo) es mayor en todas las temperaturas; sin embargo, la diferencia de color fue mayor en la cubierta de PMMA. [4].

Metodología

Descripción del secador

Se diseñaron, construyeron e instrumentaron dos secadores cilíndricos con modulación de radiación solar. Uno de los secadores se adaptó una cubierta PDLC (Polymer-dispersed liquid crystals) al cual se le denominó secador solar con control de irradiancia dinámico (SD-AC) y otro sin ésta cubierta, pero implementados con las dimensiones, la estructura y los componentes idénticos para su comparación. El SD-AC (Figura 1) consiste en un cilindro de acrílico transparente (colocado horizontalmente), de 80 cm de largo, 0,45 m de diámetro y 0,006 m de grosor de pared. Los respiraderos de aire están en la cara frontal; en la cara posterior hay un ventilador axial DC 12V, 0,08 m de diámetro que opera a 4000 rpm. En el interior de la cámara, hay una base horizontal de 0,001800 m², está posicionada



sobre 4 sensores de peso para registrar la pérdida de peso; en esta área, hay dos espigueros con 6 niveles con un área total de secado de 0,5544 m². En el centro geométrico de la cámara, hay un piranómetro y un termohigrómetro. El secador solar con control de irradiación dinámico dispone de un sistema para regular la temperatura y modular la radiación solar dentro del armario y registrar las variables antes mencionadas. El secador solar con control de irradiación dinámico se complementa con una película PDLC alrededor de la cubierta para controlar la radiación solar que incide en el interior de la cámara de secado.



Figura 5 Secador solar con control de irradiancia y secador solar cilíndrico

Descripción de su funcionamiento

El funcionamiento del secador solar con control de irradiancia dinámico consiste en la extracción de aire que entra en la parte posterior y pasa a través de los espigueros hasta ser extraído por el ventilador. Este secador es activo, pues trabaja por convección forzada debido a que el sistema de control controla la velocidad del ventilador para mantener la temperatura dentro del secador. El secador tiene sensores para registrar el peso, irradiancia solar, temperatura y humedad relativa cada minuto por lo que el secado es un proceso continuo. Los datos que se obtienen pueden ser observados mediante la pantalla del sistema de control, de este modo se puede monitorear el proceso y al final de éste, los datos pueden ser extraídos hacia un ordenador para su visualización.

Las películas PDLC se fabricaron a partir de matrices epoxídicas y materiales cristalinos líquidos estándar. Estas películas son potencialmente útiles como dispositivos electroópticos porque pueden conmutarse eléctricamente de un estado de dispersión de la luz a un estado transparente [5]. El efecto de conmutación de este dispositivo abarca todo el espectro solar. En el estado apagado, el dispositivo parece blanco translúcido. Como las películas PDLC en estado apagado transmiten difusamente, tiene aplicaciones de privacidad y



seguridad. Cuando se aplica un campo eléctrico, las gotas de cristal líquido se alinean con el campo y el dispositivo se vuelve transparente. [6].

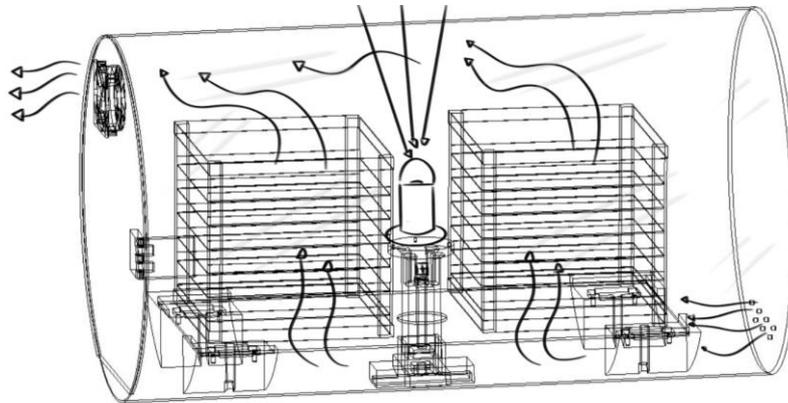


Figura 6 Funcionamiento del secador solar con control de irradiancia

Evaluación óptica

Las características ópticas del secador fueron evaluadas por un espectrómetro Ocean Optics (USB-2000) y una esfera integradora para incrementar el ángulo de incidencia. El espectrómetro evaluó la radiación solar incidente dentro de la cámara de secado con película PDLC (encendida y apagada) y dentro de la cámara de secado del secador solar cilíndrico. Para su comparación, también fue obtenido la irradiancia solar global en el plano horizontal.

Evaluación térmica

La evaluación del rendimiento térmico del secado solar se estimó adquiriendo temperatura y humedad relativa con 4 sensores digitales Ds18b20. Estos sensores se colocaron en 5 lugares diferentes de la cámara de secado

La evaluación se estimó en dos secadores solares; uno en el (SD-AC) y el otro sin película (secador solar cilíndrico) descrito anteriormente. Con el objetivo de evaluar el desempeño de la película, los secadores fueron probados durante 4 horas bajo (12:00 – 16:00) condiciones ambientales transitorias.

Resultados

Evaluación óptica

La irradiancia solar evaluada mostró que la irradiancia en el plano horizontal y los valores de la irradiancia dentro de la cámara de secado en el secador sin película PDLC son similares, por lo que, gran parte de la radiación solar incidente pasa a través del acrílico (Figura 3).



El secador solar con control de irradiancia dinámico incluso en su punto máximo de transparencia, muestra una disminución en la irradiancia en comparación con el secador solar de cilíndrico.

Por otro lado, para el secador solar con control de irradiancia dinámico, se observa el rango en el que trabaja, dado que se obtuvieron los mínimos y máximos del espectro. Con esto, se puede seleccionar mediante el sistema de control un rango de trabajo durante el proceso de secado.

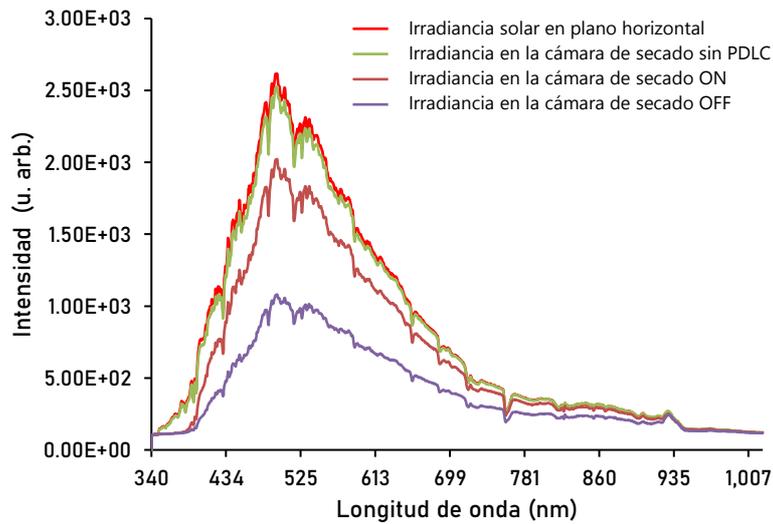


Figura 7 Irradiancias

Evaluación térmica

La evaluación térmica de ambos dispositivos ejemplificada en la figura 4 mostró que en el SD-AC tiene una menor diferencia de temperatura dentro de la cámara de secado ya sus temperaturas en los distintos puntos pueden variar hasta 4 °C. Mientras que para el secador solar cilíndrico puede variar hasta 7 °C.

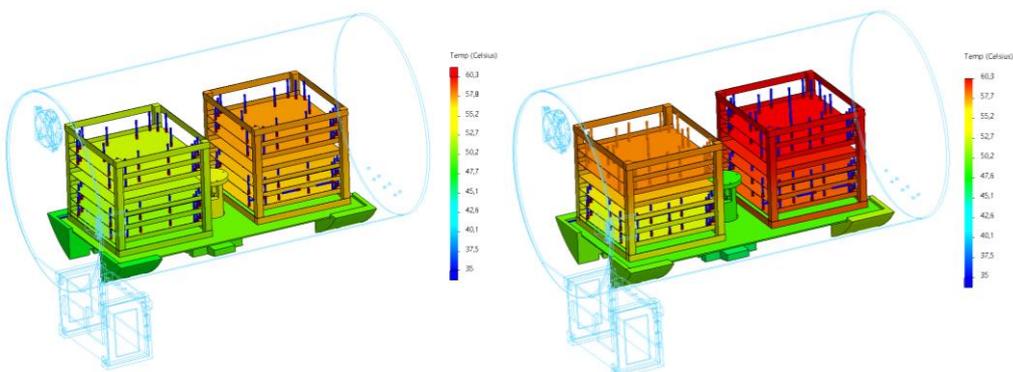


Figura 8 Ejemplificación de los resultados en la evaluación térmica del secador solar con control de irradiancia dinámico (izquierda) y secador solar cilíndrico (derecha)



Conclusiones

Dados los resultados mostrados anteriormente, el secador solar con control de irradiancia dinámico tiene un funcionamiento óptimo y satisfactorio para el proceso de secado ya que sus temperaturas son más uniformes dentro de la cámara de secado y la irradiancia solar es limitada. Con esto e incluyendo el sistema de control, el secador solar con control de irradiancia dinámico puede mantener una temperatura e irradiancia durante el proceso de secado dentro de los rangos obtenidos. Por lo que, debido a estas propiedades, su aplicación se puede evaluar para distintos tipos de productos y observar el efecto de la radiación controlada sobre sus propiedades organolépticas.

Referencias

- [1] E. H. Bani Hani, M. A. Nazari, M. E. H. Assad, H. F. Frad y A. Maleki, «Solar dryers as a promising drying technology: a comprehensive review,» *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 147, pp. 12285-12300, 2022.
- [2] . A. Andrady, . K. Pandey y A. Heikkilä, «Interactive effects of solar UV radiation and climate change on material damage,» *Photochemical & Photobiological Sciences*, vol. 18, pp. 804-825, 2019.
- [3] D. . P. García-Moreira, H. Hernández-Guzmán, N. Pacheco, J. C. Cuevas-Bernardino, E. Herrera-Pool, . I. Moreno y . E. . C. López-Vidaña, «Solar and Convective Drying: Modeling, Color, Texture, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) Slices,» *Processes MDPI*, vol. 11, p. 1280, 2023.
- [4] N. Komonsing, S. Reyer, P. Khuwijtjaru, B. Mahayothee y J. Joachim Müller, «Drying Behavior and Curcuminoids Changes in Turmeric Slices during Drying under Simulated Solar Radiation as Influenced by Different Transparent Cover Materials,» *Food MDPI*, vol. 11, p. 696, 2022.
- [5] N. A. Vaz, G. W. Smith y G. P. Montgomery, «A Light Control Film Composed of Liquid Crystal Droplets Dispersed in a UV-Curable Polymer,» *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 146, nº 1, pp. 1-15, 1987.
- [6] C. . M. Lampert, «Smart switchable glazing for solar energy and daylight control,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 52, pp. 207-221, 1998.





4 Isoterma de adsorción a 25°C de tomate cherry deshidratado mediante un deshidratador solar

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería e Instituto de Física

Luis Oscar Castro Corral¹, Fatima María Isabel de los Santos García¹, Adela Jazmín Ramos Márquez¹, Mónica Colunga Saucedo², Magdalena Alvarado Galván², Claudia Álvarez Salas², Yuri Nahmad Molinari³, Luis Edmundo Silva de los Santos³

Resumen: En este estudio se analizaron las muestras de tomate Cherry deshidratado mediante un deshidratador solar casero, se buscó obtener las mejores condiciones de humedad y temperatura para su almacenamiento y conservación óptima para su consumo posterior, además se revisó el proceso de creación de microambientes en la obtención de la isoterma de sorción mediante el método gravimétrico estático con diferentes puntos de actividad de agua a una temperatura de 25°C. Este trabajo es la primera parte del estudio pues se necesita repetir este proceso con temperaturas de 35°C, 45°C posteriormente para completar el análisis.

Key Words: *Deshidratador solar, Isoterma, Actividad de agua, Microambiente*

Introducción

El agua es el componente que domina los sistemas alimentarios influyendo significativamente en las variables del proceso, las características del producto y los factores de estabilidad. Todos los alimentos contienen agua y es bien conocido que aquellos más susceptibles de degradación son los que contienen altos niveles de agua.

La deshidratación en alimentos es un proceso ya conocido por la humanidad para la conservación de alimentos, esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua (a_w) mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de estos, tales como secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros.

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera. La deshidratación solar es una alternativa renovable para la microindustria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores.

Especificaciones de la muestra

Los tomates cherry (*Lycopersicon esculentum*) son llamados de este modo por su



semejanza de color, tamaño, y sabor dulce, con la cereza. Pueden consumirse todo el año.

Tiene un diámetro entre 1 y 3 cm, y supeso oscila entre los 10 y 15 g en los cuales aproximadamente el 95% es agua. Su sabor es menos ácido y más dulce que el tomate tradicional. En la tabla 1. Se muestra su información Nutricional

Tabla 1.

Información Nutricional (100g)	
Valor energético	29.4 Kcal
Proteínas	0.8 g
Carbohidratos	5.0 g
Grasas	0.8 g
Fibra	1.3 g
Vitamina C	28.0 g
Vitamina A	132.0 ug
Azúcares	3.0 g
Sodio	13.0 mg

Proceso de deshidratado

El proceso de deshidratación se llevó a cabo en un deshidratador solar casero con medidas de 1 x1 x 1.2 metros recubierto de aluminio por el interior, el aluminio se pintó de negro lograr una menor reflectancia, por el exterior está cubierto de policarbonato celular de translucido para captar los rayos solares

El deshidratador cuenta con un sistema de ventilación alimentado por un panel fotovoltaico que ayuda a circular el aire caliente dentro del deshidratador permitiendo una deshidratación uniforme en todas las muestras.

Dentro del deshidratador se colocó a una base de madera donde se colocaron charolas de aluminio en las cuales se acomodaron las muestras para su secado.

El deshidratador depende de las condiciones climatológicas, en días soleados alcanza un promedio de 60 °C durante de las 12:01 a las 16:00 para lograr el deshidratado de las muestras.



Imagen 1: fotografía del deshidratador solar

Preparación de la muestra para secado

Para comenzar la deshidratación del producto se cortaron por la mitad las muestras de Tomate Cherry con la finalidad de permitir que el calor entre con mayor facilidad a las muestras y acelerar el proceso de secado.

Después se colocó el tomate Cherry sobre las charolas de aluminio con perforaciones para permitir el flujo de aire caliente y que las muestras se secan de manera uniforme.

Se metieron en el deshidratador 4 charolas de aluminio con las muestras de tomate y se dejaron ahí por 2 semanas hasta que terminara el proceso de secado. En las imágenes 2 y 3. Se muestra como se colocó el tomate Cherry.



Imagen 2: Tomate Cherry cortado listo para meter en el deshidratador solar



Imagen 3: Tomates Cherry dentro del deshidratador listos para comenzar el proceso

Medición de actividad de agua



La actividad de agua (a_w) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas (por ejemplo, oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y desarrollo microbiano. Por esto la actividad de agua es un parámetro bastante usado como indicador para predecir la vida útil de un alimento.

La actividad de agua es la relación entre la fugacidad de la solución (f) y la fugacidad del solvente puro (f_0). Se entiende por fugacidad la tendencia del solvente de "escapar de la solución"

La actividad de agua puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$a_w = \frac{f}{f_0} = \frac{P}{P_0} = \frac{HRE}{100}$$

Donde:

P = Presión parcial de vapor de agua en el sistema.

P_0 = Presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.

HRE = Humedad Relativa de Equilibrio.

En este caso se utilizó un AquaLab que es un equipo que utiliza este principio para obtener la medición de actividad de agua en las muestras.

Para realizar la medición es necesario cortar la muestra en pequeños trozos de forma que entre en el portamuestras de manera uniforme para una medición precisa.

Se realizó una medición antes y después del proceso de deshidratación.

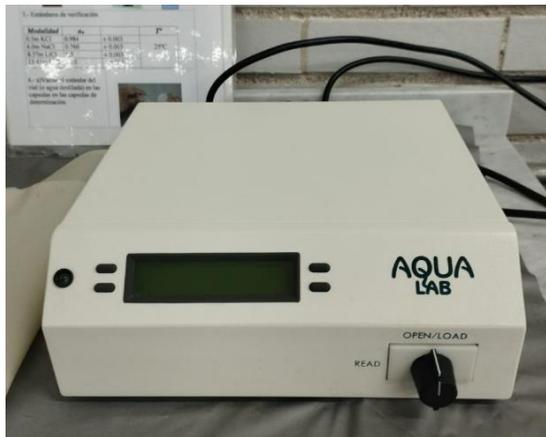


Imagen 4: Fotografía del equipo de medición de actividad de agua (AquaLab)

Preparación de microambientes

Para medir las condiciones óptimas en las cuales el producto se pueda conservar apto para consumo es necesario someter el producto a diferentes condiciones de humedad



y temperatura.

Para ello es necesario utilizar microambientes donde se puedan controlar las condiciones de humedad, para ello se utilizaron frascos con sales con diferentes valores de actividad de agua en donde se introdujeron las muestras para observar sus cambios hasta que las muestras alcancen un punto de equilibrio en los distintos microambientes a diferentes actividades de agua.

El laboratorio ya contaba con algunos de los microambientes que se necesitaban por lo que en este caso solo se elaboraron dos sales, hidróxido de sodio con una actividad de agua de 0.066 y el cloro de sodio con actividad de agua de 0.705.

Para la preparación de esta sal se utilizaron 100 g de pellets de hidróxido de sodio (NaOH) que se tuvieron que moler en un mortero hasta que quedara un polvo fino sin grumos.

Se colocaron los 100 g de NaOH ya molidos dentro de un frasco con tapa hermética que sellara bien y se agregó agua en pequeñas porciones de 5 ml hasta que se formó una pasta. Es importante que se mezcle constantemente mientras se agrega el agua porque estas sustancias tienen una reacción exotérmica lo cual hace que el frasco se caliente.

Cloruro de sodio

Se tomaron 100 g de cloruro de sodio y de igual manera se utilizó el mortero para deshacer cualquier grumo que pudiera tener el reactivo. Después se colocó en un frasco con tapa hermética y se agregó agua destilada en porciones de 5 ml hasta obtener una mezcla homogénea. En la imagen 5 se muestra el Cloruro de sodio y el Hidróxido de Sodio.

Al tener los dos microambientes se tomó una muestra de cada uno para pasarlo al AquaLab y verificar que su actividad de agua sea correcta.

Estas sales se tienen que mantener a una temperatura constante y se tienen que monitorear algunos días para que se estabilicen y no cambie su aw cuando se inicie con la prueba con las muestras de tomate.



Imagen 5: Hidróxido de sodio (0.066aw) y cloruro de sodio (0.705aw)



Determinación de isotermas de sorción

Las isotermas de sorción pueden ser determinadas de acuerdo con dos principios básicos: el gravimétrico y el manométrico o higrométrico.

Para este estudio se utilizó el método gravimétrico estático el cual consiste en la determinación de variaciones en el peso de las muestras en equilibrio con diferentes presiones de vapor de agua.

Se utilizaron charolas de plástico perforadas por la parte de abajo, para permitir el flujo entre el ambiente y la muestra, donde se coló aproximadamente 3 gr de la muestra por duplicado, correctamente etiquetado, en cada una de las sales. Ya con las muestras dentro de cada uno de los microambientes se ingresaron en una incubadora que mantiene una temperatura de 25 °C.

Se monitoreo el peso de las muestras con ayuda de una balanza analítica siempre tomando la medición a las muestras, tardaron 10 días en llegar al equilibrio con una variación menor a 0.005 gr entre un día y otro. Una vez que las muestras llegan al equilibrio se debe determinar la humedad final, para esto pasamos las muestras a charolas de aluminio, previamente preparadas a peso constante para no afectar la medición, se midió el peso inicial y después se metieron a secar en una estufa a 300 °C por 3 horas, ya pasado el tiempo se sacaron de la estufa y se midió el peso final para determinar la humedad en cada una de las muestras. En la imagen 6 se muestran los microambientes



Imagen 6: Imagen de las muestras dentro de los diferentes microambientes



Resultados

Después de dos semanas en el deshidratador solar se sacaron las muestras y se les hizo una medición antes y después del proceso para conocer su actividad de agua se obtuvieron los datos de la tabla 2. En la Imagen 7 se muestra la imagen del tomate cherry fresco y deshidratado

Tabla 2: Actividad de agua de las muestras antes y después de la deshidratación

Actividad de agua			
Tomate fresco		Tomate deshidratado	
M1	0.990aw	M1	0.476aw
M2	0.995aw	M2	0.468aw



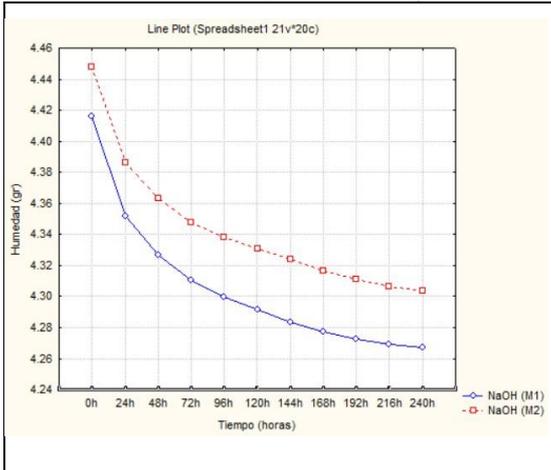
Imagen 7: Fotografías de la muestra antes y después del proceso de deshidratado

Después se pasó una muestra a la estufa a 300°C por 3 horas para obtener el porcentaje de humedad que había perdido el producto después del deshidratado, en la tabla 2 se muestran los resultados

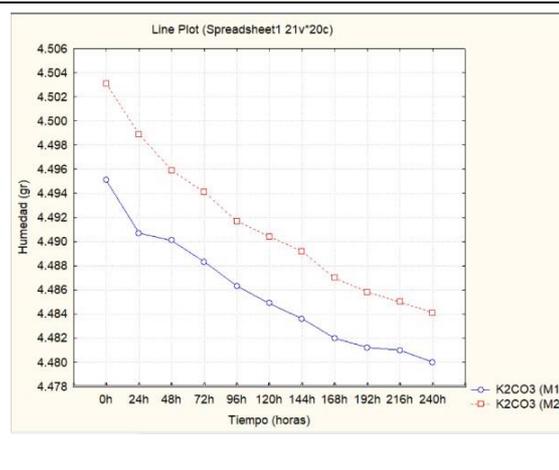
Tabla 2: Porcentaje de humedad de las muestras después del deshidratado.

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Humedad (%)
M 1.1	1.8364	1.6493	17.4647624
M 1.2	1.7665	1.5982	16.941816
M 1.3	1.7207	1.5574	16.9821131

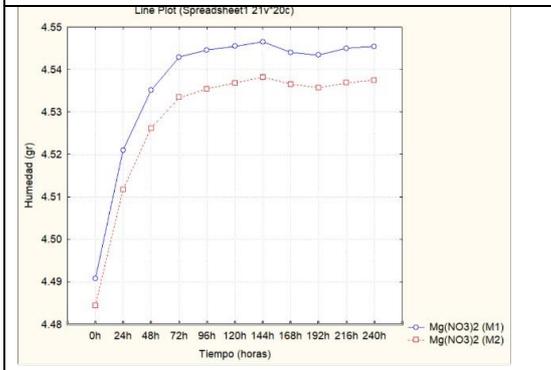
Después de 10 días de haber ingresado las muestras en los diferentes microambientes obtuvimos las siguientes graficas donde observamos el cambio de humedad hasta que llega a un punto de equilibrio. En la Grafica 1 y 2 se muestran los resultados



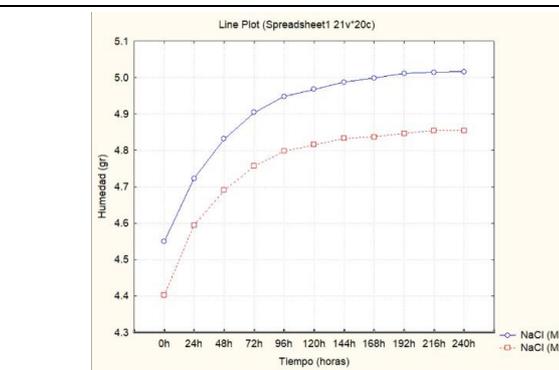
Grafica 1: Humedad (gr) vs Tiempo(horas) de NaOH



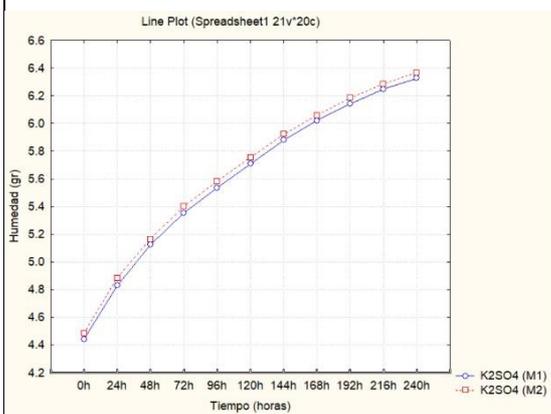
Grafica 2: Humedad (gr) vs Tiempo (horas) de K₂CO₃



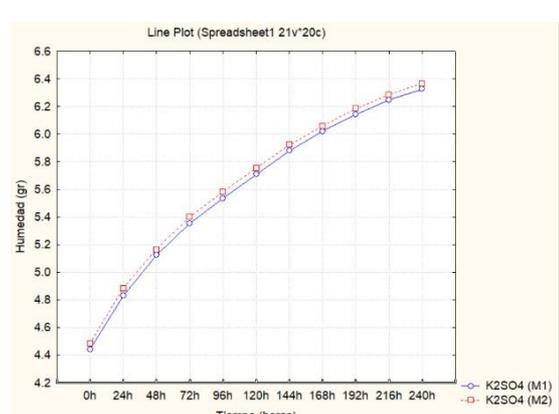
Grafica 3: Humedad (gr) vs Tiempo(horas) de Mg(NO₃)₂



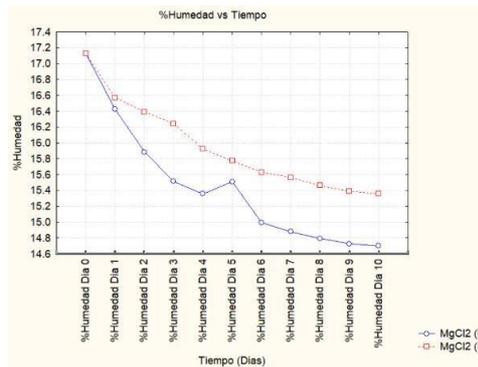
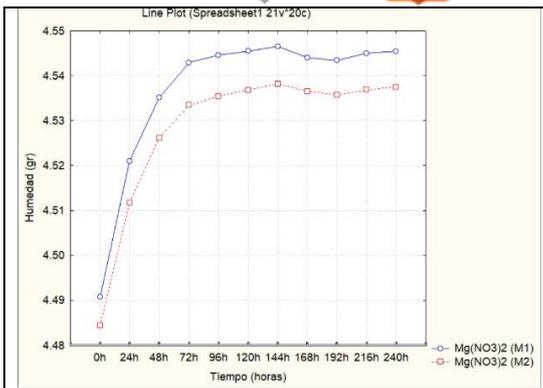
Grafica 4: Humedad (gr) vs Tiempo (horas) de NaCl



Grafica 5: Humedad (gr) vs Tiempo (horas) de K₂SO₄

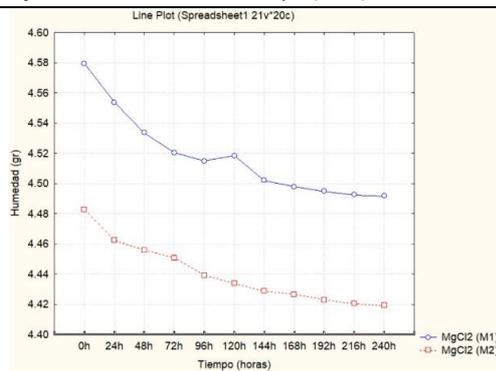
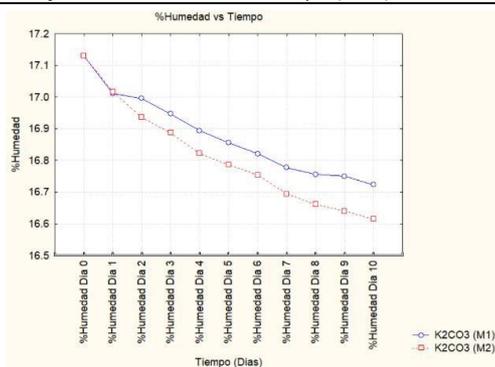


Grafica 6: Humedad (gr) vs Tiempo (horas) de MgCl₂



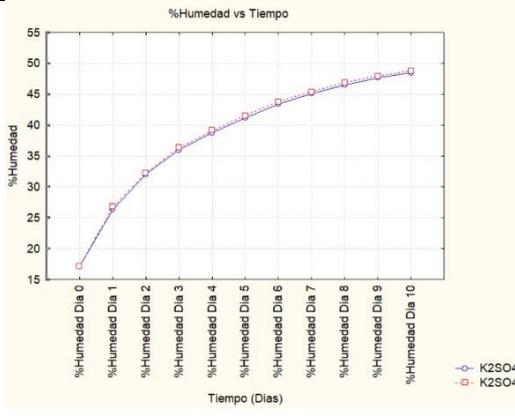
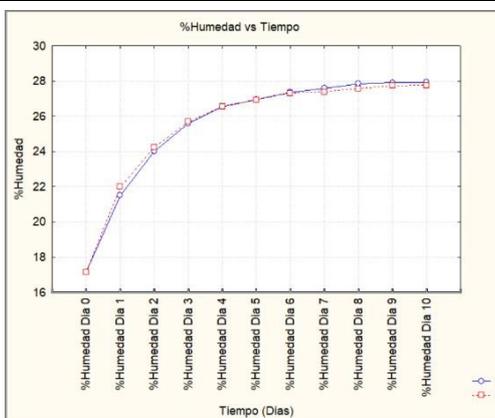
Grafica 7: %Humedad vs Tiempo (Días) de NaOH

Grafica 8: %Humedad vs Tiempo (Días) de MgCl₂



Grafica 9: %Humedad vs Tiempo (Días) de K₂CO₃

Grafica 10: %Humedad vs Tiempo (Días) de Mg(NO₃)₂

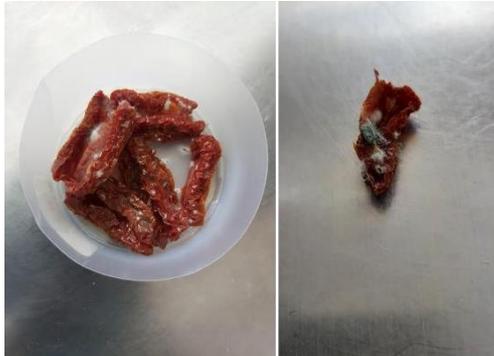


Grafica 11: %Humedad vs Tiempo (Días) de NaCl

Grafica 12: %Humedad vs Tiempo (Días) de K₂SO₄



En el día 10 las muestras que se encontraban en el microambiente de Sulfato de Potasio (K_2SO_4) con la mayor actividad de agua (0.898aw) se contaminaron y desarrollaron hongo, por esta razón no fue posible determinar humedad final para esta muestra. En la imagen 8 se muestra el



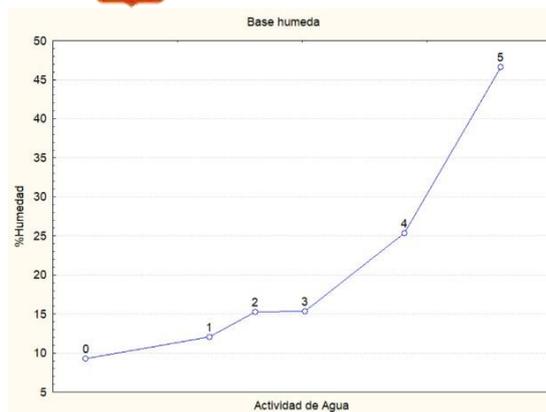
jitomate Cherry contaminado

Imagen 8: Muestra contaminada en el día 10 que se encontraba dentro del frasco con Sulfato de Potasio (K_2SO_4)

Por último, se determinó la humedad final de las muestras metiéndolas a la estufa a $300^\circ C$ por 3 horas de lo cual se obtuvo los siguientes datos para conseguir graficar la isoterma. En la tabla 3 se muestra la información.

Tabla 3: %Humedad final de las muestras respecto a la actividad de agua.

Actividad de Agua	%Humedad Final
0.066	9.29696771
0.314	12.048136
0.406	15.2317064
0.506	15.3139455
0.705	25.3594126
0.898	46.5786



Grafica 13: Isoterma de adsorción para el tomate Cherry deshidratado

En esta grafica podemos observar que la humedad presenta un comportamiento lineal hasta una actividad de agua aproximada de 12% y después de este punto la gráfica muestra un comportamiento exponencial lo que nos indica que una humedad en el ambiente mayor a 50% podría comprometer la calidad del producto.

Conclusiones

El hecho de que el producto sea deshidratado por un deshidratador solar parece no influir más que en el tiempo del proceso para deshidratar alimentos, se necesitan más estudios para comprobar las diferencias entre un producto deshidratado con ayuda de los rayos del sol y un producto industrial.

Podemos observar que la muestra pierde humedad en los ambientes que contienen una actividad de agua menor a la de la muestra y absorbe humedad en los ambientes que tienen una actividad de agua superior a la muestra.

Una humedad mayor al 50% en el ambiente compromete la calidad del producto y esto potencia el desarrollo de agentes biológicos como microorganismos y hongos que descomponen los alimentos.

Es claro que se necesita continuar con el estudio a temperaturas más altas para determinar las condiciones óptimas para la conservación de los tomates deshidratados.

Bibliografía

Anria, M. (2019). Modelado de la isoterma de adsorción de zanahorias deshidratadas. Revista del tecnológico, 17-23.

hostelerialeioa. (2015). gastronomía Vasca. Obtenido de Tomate Cherry: <https://www.gastronomiavasca.net/es/gastro/glossary/tomate-cherry>

Huillca, P. V. (2011). Determinación de las isotermas de adsorción del ají (*Capsicum annum* L.) Seco. Puerto Maldonado Perú.

Soteras, E. M. (2014). Isotermas de adsorción y desorción de agua en leche en polvo: ii. Leche entera. Avances en Ciencias e Ingeniería, 57-66.



UNAM, U. d. (2022). ecotec. Obtenido de Deshidratadores Solares:
<https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>



5 Horno solar Heider

Jaime Adrián Briseño Ramírez, Brian Jesús de Alba Aguilar ^a, Mónica Camas-Náfate

^a*

^a *Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.*

*Mónica Patricia Camas Náfate; monica.camas9831@academicos.udg.mx**

Resumen

El horno solar es un aparato que sirve para cocinar diferentes tipos de alimentos, utilizando el sol como fuente de energía. Para este proyecto, buscamos evaluar y caracterizar el desempeño de cocción del horno construido bajo las condiciones de Tonalá, Jalisco.

Los alimentos se cocinan gracias a la radiación solar captada en la superficie reflejante del cuerpo del horno y con la ayuda del aislamiento presente. Por tanto, la caracterización se ha realizado en base al alimento en cuestión. Así como, la evaluación de la participación del aislamiento del horno para el proceso mismo.

Para este proyecto se utilizó pescado, cuyas temperaturas de cocción fueron monitoreadas y caracterizadas, en conjunto con datos ambientales. Cabe señalar, que los alimentos usados en esta caracterización fue pescado, como proteína. Además de realizarse dentro de la semana del 23 al 27 de septiembre del presente año. Durante esta semana se tuvieron condiciones meteorológicas no aptas para este dispositivo. Lo que permitió evaluar su desempeño con poco recurso solar, debido a la presencia de tormentas eléctricas.

Introducción

En este proyecto se elaboró un horno solar Heider a partir de cartón, una hielera y aluminio, en el cual realizamos una caracterización para determinar el tiempo de cocción del alimento utilizado; en este caso utilizamos filete de pescado. Este filete tiene una temperatura de cocción de 65°C y no se observó reducción en su masa ya que al cocinarlo encontramos que el fluido que hay en el proceso no es agua, ni aire, sino proteína.

La caracterización se realizó con los siguientes aparatos:

- Termohigrómetr
○
- Anemómetr
○
- Solarímetr
○
- Cámara
termográfica
- Termómetr
○ para
alimentos

Existen tres tipos principales de cocinas solares: el tipo caja, el tipo panel y el tipo curvado/concentrador parabólico. El tipo caja es el más utilizado, con una superficie interna oscura, materiales reflectantes para dirigir la luz solar hacia la cocina y una tapa transparente, generalmente de doble acristalamiento, que



permite la entrada de la luz solar mientras atrapa el calor en su interior. Aunque las cocinas solares de caja pueden ser muy beneficiosas, también pueden surgir problemas al utilizarlas.

El tipo de cocina solar desarrollada en este trabajo es una estufa solar tipo “caja”, según la Asociación Internacional de cocineros solares y la sociedad internacional de energía solar (SCI e ISES, por sus siglas en inglés, respectivamente) bajo el protocolo de evaluación (PEP, Performance Evaluation Process)[1-4]. Este tipo de cocinas cuentan con la captura “extra” de energía, mediante una solapa reflejante. Además de contar con un sistema de aislamiento térmico para retención del calor[4-6].

Pese a las condiciones meteorológicas, se alcanzaron temperaturas en el interior de la caja de 65°C , mientras que en el alimento se alcanzó 70°C, temperatura de cocción del pescado. Sin embargo, el calor no se distribuyó de manera uniforme, dejando partes de la proteína con un proceso de cocción incompleto. Belkhir Lazizi [3], en su artículo de conferencia “ Mathematical Model of the Energy Balance for Two Configurations of Trapezoidal Box-type Solar Cooker Tested under Saharan Climate” analizó el funcionamiento de un dispositivo con características similares, en condiciones de radiación de 1005 W/m² , en un día típico de mayo en la zona de Ghardaïa, Argelia, tuvo un comportamiento en la temperatura de hasta 106°C , mientras que en Septiembre [6-8] tiene un comportamiento similar al de nuestra localización, alcanzando una temperatura de 65°C.

La caracterización total fue de 2 horas (exactamente 1 hora y 40 minutos), el día fecha y hora de inicio y hora fin.

Objetivos:

- Caracterizar el comportamiento del horno solar Heider con respecto al recurso disponible (los rayos del sol).
- Identificar las características a evaluar.
- Llegar a la temperatura de cocción en el horno solar.



Metodología



Figura 1 Metodología e instrumentación para la caracterización de la estufa solar, tipo caja. Elaboración propia.

En la figura X se sintetiza el proceso de construcción y caracterización. En el diseño experimental se realizó una capacitación breve sobre el uso de los equipos, además de contar con una investigación acerca del aislamiento térmico usado en el dispositivo (aserrín) y cómo este aislamiento afectaría el comportamiento de la estufa solar. Los equipos mencionados para realizar las caracterizaciones, tanto del dispositivo como del alimento, son básicos, sin embargo, concuerda con literatura consultada y mencionada previamente. En cuanto al análisis organoléptico, se observó diferentes texturas y colores que indicaban que la distribución del calor no había sido homogénea, promoviendo que la cocción no se realizara de manera total en la proteína, sino una cocción parcial comprobada con el termómetro de alimentos.

Construcción del horno solar Heider

Se construyó con una caja de cartón con las siguientes medidas: 60x30x30cm y una hielera en su interior de 40x25x25cm (sin el grosor de la tapa), el restante se rellenó con aserrín para conservar la temperatura interior. También se le hizo dos ventanas laterales de 10x5cm para poder observar el aserrín en el interior, y se forró la caja de cartulina negra y aluminio.



Figura 2 Proceso de construcción del dispositivo. Elaboración propia.

Como puede observarse en la figura 2 a la caja le fue diseñada una pestaña forrada también de aluminio la cual funcionó como rebote de los rayos del sol hacia dentro de la cabina, a esto se le conoce como el “focor”.

Para la figura 2, se puede observar como la hielera fue forrada de aluminio tanto en el interior como en el exterior y se colocó dentro de la caja con una cinta de doble cara para que no se moviera, después la caja fue rellena de aserrín y tapada con las pestañas de la misma caja para así evitar que se salga el relleno, además fue asegurada con cinta adhesiva. También se le hizo dos ventanas laterales de 10x5cm para poder observar el aserrín en el interior, y se forró la caja de cartulina negra y aluminio.



Figura 3 Proceso de construcción, aislamiento I. Elaboración propia.

La tapa de la hielera fue modificada para colocarle un plástico duro (acrílico) con una medida de 20x15cm para ser añadida a la tapa donde se recibirá los rayos del sol. Cabe señalar que el horno solar Heider es aquel que contiene una tapa para conservar la temperatura interior, esto funciona como aislante térmico.

Finalmente, en la figura 4 se observa la puesta del acrílico a la tapa, también fue forrada de aluminio. Después se elaboró una plancha tipo comal para allí colocar los alimentos que serán cocinados para evitar el derrame de líquidos y para que sea más sencilla la limpieza de la cabina.



Figura 4 Construcción del dispositivo, aislamiento térmico II. Elaboración propia.



Caracterización ambiental

Para la realización de la caracterización se contó con las mediciones en:

- Temperatura y humedad ambiental
- Velocidad del viento
- Radiación solar
- Termofotografía y temperatura interior de la cámara
- Temperatura de cocción

Al ser un horno solar y no un deshidratador no fue necesario el uso de aparatos que miden la humedad interna, ya que solo nos interesa la temperatura ambiental, la de la cabina y la del filete de pescado en el caso que nos ocupa.

Caracterización de objetivo

El proceso de caracterización fue el siguiente:

1. Envolvimos el filete de pescado en aluminio y lo pesamos para saber su peso inicial y cómo cambiaría al final de la caracterización (si es que cambia).
2. Acomodamos el horno solar Heider en dirección al sol con un ángulo de 25°
3. Introducimos el filete dentro del horno solar Heider e introducimos un multímetro con sensor de temperatura a la cabina del horno (esto era opcional).
4. Cada 10 minutos se hicieron mediciones de parámetros.
5. Después de que el filete llegó a su temperatura ideal de cocción (65°C) se hizo solo la medición siguiente (en los siguientes 10 minutos) y se retiró el horno del sol.
6. Observamos los resultados.

Proceso de datos

En este apartado se presenta la tabla de datos que se obtuvo durante la caracterización.

Tabla 1 Tabla resumen de resultados. Elaboración propia.

Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Recurso solar w*m-2	749.7	1325. 2	1196	1454. 7	1283	1276	1369	1300	1210	1298	1310
Velocidad de viento ms-1	2.5	1.19	0	2.60	1.70	2.45	1.5	1.67	1.60	1.20	0
T° ambiental	33.4 °C	32 °C	31.7° C	32.3 °C	31.4 °C	31 °C	31 °C	31.3 °C	30 °C	31 °C	30. 4 °C
T° alimento	37.1 °C	40.2 °C	48.3 °C	50.3 °C	56.8 °C	60 °C	62 °C	64.5 °C	65 °C	66 °C	70. 6 °C
% ambiental	45.5 RH	45.3 RH	46.3 RH	46.6 RH	45.8 RH	44.1 RH	45.3 RH	47 RH	48 RH	48 RH	49 RH
T° cámara interior	32.4 °C	40 °C	44.5 °C	49.2 °C	52.5 °C	55 °C	56 °C	56.5 °C	58.5° C	60 °C	60. 6 °C
Hora inicio	12:35hr s	Hora final	14:2 0 hrs.	Peso del alimento		75gr	Tiempo total de cocción		110minutos		

Comenzamos las mediciones a las 12:35 pm y terminamos a las 2:40pm, las temperaturas varían ya que durante la caracterización tuvimos varias



complicaciones con las nubes y esto reducía la efectividad en la cocción del alimento.

puedo añadir que era posible llegar al objetivo más rápido si no hubiera nubes de por medio.

Análisis de resultados

En la siguiente imagen, se puede observar una cocción no homogénea, debido a que el recurso solar no fue constante. Durante la experimentación, se contó con varios días nublados, lluviosos y fríos.



Figura 5 Comparación visual, cocción no homogénea. Elaboración propia.

Incluso con el aislamiento térmico proporcionado por el aserrín, el dispositivo no contaba con una distribución uniforme del calor, debido principalmente a la variabilidad del recurso, esto principalmente a las condiciones meteorológicas. Provocó que la superficie de cocción no tuviera una distribución homogénea del calor, ya que, el calor se desplazaba de forma heterogénea. Dando como resultado que la proteína no lograra un punto de cocción idóneo para consumo humano.

Conclusiones

La variabilidad del recurso solar y la temporada de lluvias, provocó que los resultados no fueran los adecuados para la cocción solar, incluso cuando se optó por este tipo de cocinas solares de caja, con aislamiento térmico. Estos resultados parciales, permitieron proponer una hibridación energética al dispositivo, con el objetivo de proporcionar un respaldo energético, sea con almacenamiento de calor o una fuente de calor extra. Un serpentín, en el cual circulará agua como fluido caloportador, este fluido obtendrá su calor mediante la combustión de biomasa residual seca paletizada, como fuente extra de calor, no sólo para aumentar la temperatura en el interior de la caja, sino también buscar que la distribución de calor en la superficie de cocción sea homogénea.

Referencia bibliográfica.



- [1] Soteris a. kalogirou, "Solar Energy Engineering," in Solar Energy Engineering, Elsevier, 2009, pp. 755–760. doi: 10.1016/B978-0-12-374501-9.00024-8.
- [2] M. Y. Getnet, D. G. Gunjo, and D. K. Sinha, "Experimental investigation of thermal storage integrated indirect solar cooker with and without reflectors," Results in Engineering, vol. 18, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101022.
- [3] Celestino Rodrigues Ruivo, Gianluca Coccia, Giovanni Di Nicola, Antonio Carrillo-Andrés, Xabier Apaolaza-Pagoaga, Standardised power of solar cookers with a linear performance curve following the Hottel-Whillier-Bliss formulation, Renewable Energy, Volume 200, 2022, Pages 1202–1210, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.041>.
- [4] K. Gairaa and S. Benkaciali, "Analysis of solar radiation measurements at Ghardaïa area, South Algeria," in Energy Procedia, Elsevier Ltd, 2011, pp. 122–129. doi: 10.1016/j.egypro.2011.05.014.
- [5] E. Mathioulakis, S. Babalis, S. Kalogirou, and V. Belessiotis, "Energy Labelling and Ecodesign of solar thermal products: Opportunities, challenges and problematic implementation aspects," Renew Energy, vol. 101, pp. 728–736, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.renene.2016.09.034.
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers. Bangalore Section and Institute of Electrical and Electronics Engineers, Proceedings of IEEE CONECCT 2020 : 6th International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies : July 2–4, 2020.
- [7] American Society of Agricultural and Biological Engineers, "ASAE S580.1 NOV2013 Testing and Reporting Solar Cooker Performance American Society of Agricultural and Biological Engineers."
- [8] B. Lazizi, F. Yettou, A. Gama, M. Aksas, and R. Khelifi, "Mathematical Model of the Energy Balance for Two Configurations of Trapezoidal Box-type Solar Cooker Tested under Saharan Climate," in SIENR 2021 - 6th International Symposium on New and Renewable Energies, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/SIENR50924.2021.9631884.



6 Chapulines al Sol: El Secreto de la Nutrición Sostenible.

Autores:

Ramírez Arroyo Miguel Angel.

Bracamontes Castro Jesús Emmanuel.

Almeraz Orozco Brian de Jesus.

Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá,
Universidad de Guadalajara. Tonalá, Jalisco, México.

Resumen

Este deshidratador solar es un dispositivo que utiliza la energía del sol para eliminar la humedad de los chapulines, preservándolos y aumentando el tiempo de conservación del alimento creando opciones de almacenamiento duraderas. Mediante un deshidratador solar directo capta la radiación para provocar la evaporación del agua en su interior. En este caso se utilizó un deshidratador de “chapulines”. El proceso implica capturar la energía solar a través de una superficie transparente, calentar el aire dentro del deshidratador y colocar los chapulines en bandejas para que se sequen reduciendo el contenido de agua y evitando el crecimiento de microorganismos que causan descomposición. Esto resultó en chapulines deshidratados con la finalidad de procesar este alimento y crear ingredientes de cocina, gastronomía o alimentos para campamentos.

Los alimentos deshidratados son ligeros y ocupan menos espacio. Además, esta tecnología contribuye a reducir el desperdicio de alimentos y a la producción a pequeña escala en áreas con acceso limitado a electricidad.

Palabras Claves: Deshidratador solar, nutritivo, cocción sustentable.

Introducción

Los chapulines son una fuente de alimento valioso en muchas partes del mundo debido a su alto contenido de proteínas, su sustentabilidad y su versatilidad en la cocina. Su consumo puede tener beneficios nutricionales, ambientales y culturales, y contribuir al bienestar de las comunidades que los crían y comercializan. En México, los chapulines son comida ancestral, con más de 3000 años de tradición. Los zapotecos, mixtecos y mayas los consumían como remedio para enfermedades digestivas, respiratorias, nerviosas, circulatorias y óseas. Su primer registro está en el Códice Florentino, escrito por Fray



Bernardino de Sahagún. Aquí el Fray redacta las especies de insectos comestibles. Los chapulines estaban entre las 96 especies de ese entonces. Se escogió este alimento como fuente de proteína ya que su duración como alimento deshidratado es muy extensa conservando el alimento en buenas condiciones para ser comestible. La duración de los chapulines deshidratados puede variar según diversos factores, como la calidad de la deshidratación, el almacenamiento y las condiciones ambientales. Sin embargo, si se almacenan adecuadamente en un lugar fresco y seco, los chapulines deshidratados pueden conservarse durante un tiempo prolongado, generalmente de 6 meses a 1 año o incluso más

Objetivos

General

El objetivo principal de este proyecto es diseñar, construir y probar un deshidratador solar de bajo costo y eficiente que permita la deshidratación de chapulines, con el propósito de procesar este alimento y crear ingredientes de cocina y alimentos para campamentos.

Específico

- Diseñar un dispositivo que realice la deshidratación del producto para crear un alimento nutritivo y sustentable
- Caracterizar el dispositivo.
- Procesar los datos.
- Interpretar datos.

Metodología

1. Investigación Preliminar:

- Realizar una investigación exhaustiva sobre los chapulines como alimento, incluyendo sus propiedades nutricionales y ventajas como fuente de proteína.
- Investigar los principios de la deshidratación solar y las tecnologías existentes de deshidratadores solares.
- Identificar las necesidades específicas de la comunidad objetivo y las condiciones ambientales en las que se utilizará el deshidratador.

2. Diseño del Deshidratador Solar:

- Diseñar un prototipo de deshidratador solar de chapulines que sea eficiente y de bajo costo.
- Seleccionar los materiales necesarios para la construcción del prototipo, teniendo en cuenta la disponibilidad local y la sostenibilidad.
- Integrar una superficie transparente para capturar la radiación solar y un sistema de circulación de aire para el secado de los chapulines.

3. Construcción del Prototipo:

- Construir el deshidratador solar de acuerdo con el diseño previamente elaborado.
- Realizar pruebas y ajustes en el prototipo para garantizar su funcionamiento adecuado y eficiencia en la deshidratación de chapulines.



4. Pruebas de Caracterización:

- Realizar pruebas de deshidratación utilizando chapulines frescos.
- Medir y registrar los tiempos de deshidratación, la temperatura interna del deshidratador y la calidad del producto final.
- Evaluar la eficiencia del prototipo en términos de reducción del contenido de agua y conservación de los chapulines.

5. Optimización y Mejoras:

- Basándose en los resultados de las pruebas, realizar ajustes y mejoras en el diseño y funcionamiento del deshidratador si es necesario.
- Buscar soluciones para aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de deshidratación.

6. Mantenimiento Continuo:

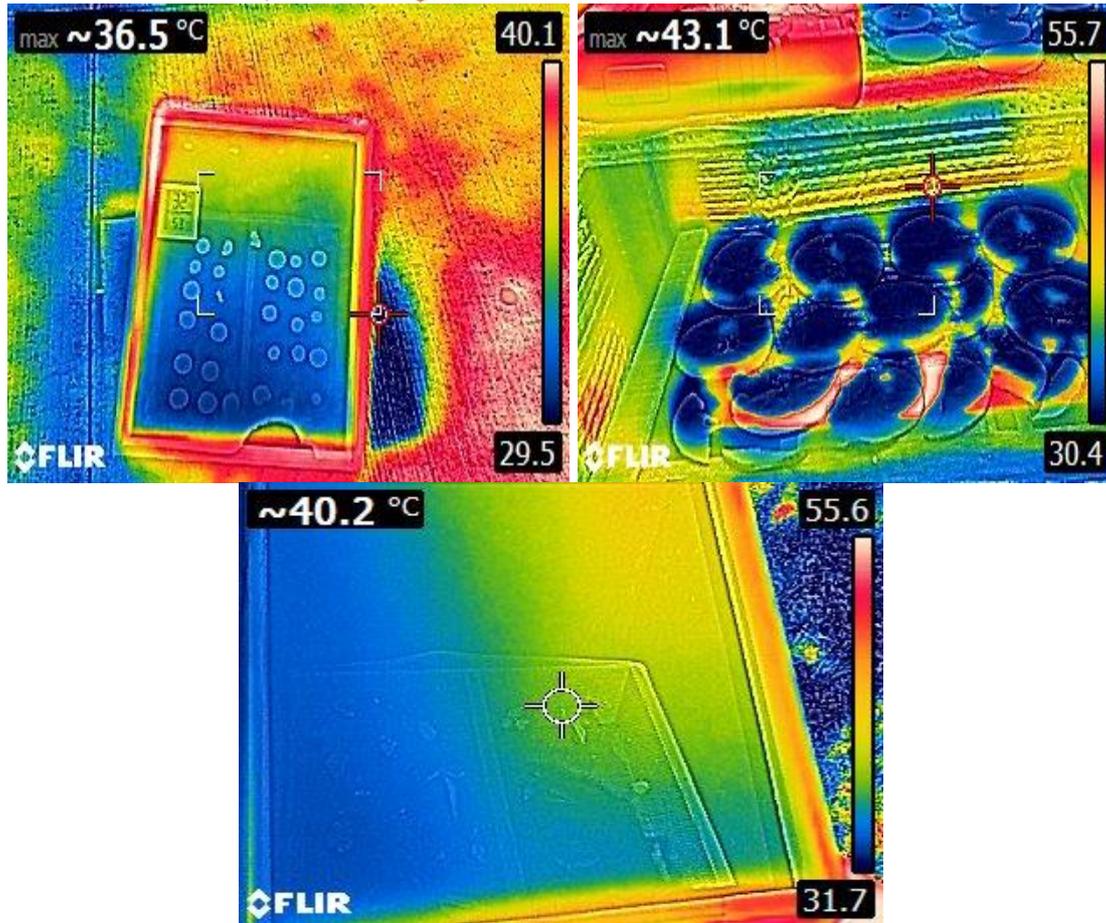
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para garantizar que el deshidratador solar siga funcionando de manera óptima a lo largo del tiempo.

7. Seguimiento y Evaluación a durante el semestre:

- Realizar un seguimiento a largo plazo para evaluar la sostenibilidad del proyecto y su impacto en la comunidad.



Construcción del dispositivo.



Fotos térmicas de la caracterización del dispositivo realizado el día 28 de septiembre de 2023 dentro de las instalaciones del Centro Universitario de Tonalá.

Resultados:

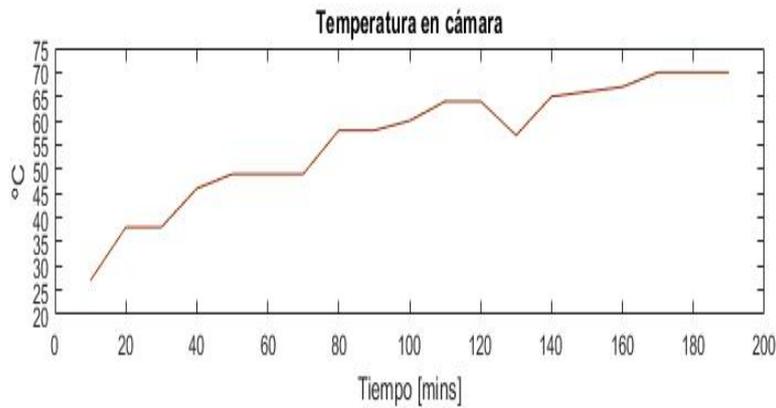
Para obtener los resultados de la siguiente tabla a la hora de la caracterización se utilizó los siguientes instrumentos de medición: Piranómetro para la radiación solar, anemómetro para la velocidad del viento, termómetro para las temperaturas tanto ambiental como al interior de la cámara, higrómetro para el porcentaje de humedad ambiental, y báscula gramera para el peso inicial y final del alimento, dando como resultado las siguientes mediciones:



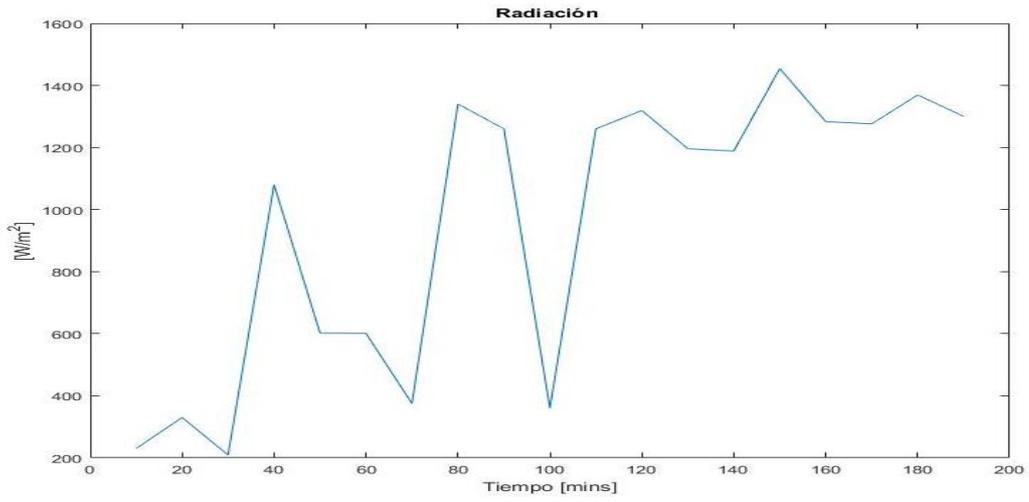
Medicion	1	2	3	4	6	7	8	9	10
Radiacion	230	330	209	1080	602	601	375	1340	1260
Velocidad del viento	1	0.4	0	0.4	0.3	0.2	0	0.6	0.1
Temperatura ambiental	27.2	26.8	26.1	28.2	28.1	27.5	27.3	30.6	28.7
Temperatura camara	27	38	38	46	49	49	49	58	58
%H ambiental	59.5	61.5	63.8	59.9	61.5	58	56.7	51	56.5
Peso inicial	1.08								
Peso final	0.7925								
%H alimento									
Fotografia (folio)									
Hora de muestras	10:47	10:57	11:07	11:17	11:27	11:37	11:47	11:57	12:07
	0	0.16	0.33	0.5	0.66	0.83	1	1.16	1.33

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
360	1260	1319	1196	1188.4	1454	1283	1276	1369	1300
0.6	0.2	0	0	0	2.6	1.7	2.45	1.5	1.67
27.8	33.4	32	31.7	31.8	32.3	31.4	31	31	31.3
60	64	64	57	65	66	67	70	70	70
54.9	45.5	45.3	46.3	47.3	52.4	45.8	44.1	45.3	47
12:17	12:27	12:37	12:47	12:57	13:07	13:17	13:27	13:37	13:47
1.5	1.66	1.83	2	2.16	2.33	2.5	2.66	2.83	3

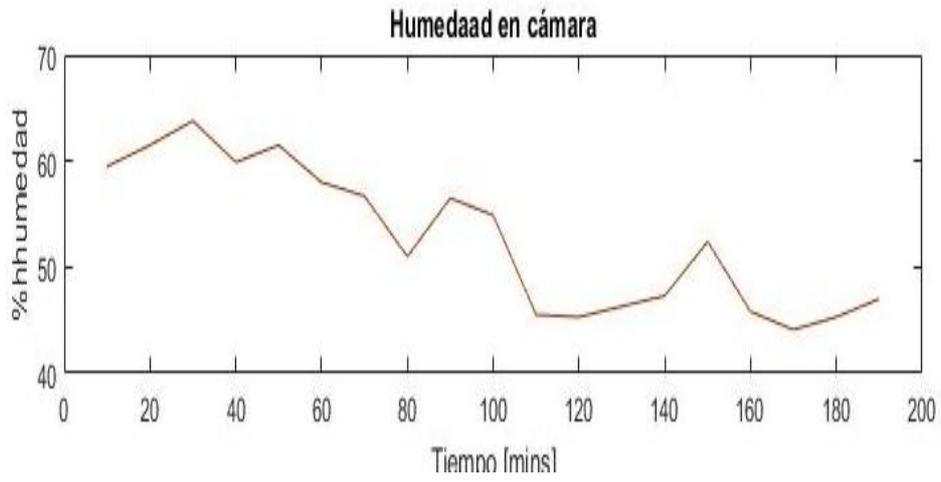
Se realizó una caracterización durante 3 horas, teniendo la primera medición a las 10:47 am, y la última medición a las 13:47 pm. En las últimas tres mediciones se obtuvo una temperatura al interior de la cámara de 70°C, y dando como resultado la completa deshidratación del alimento. A continuación se adjuntan las gráficas del experimento realizado:



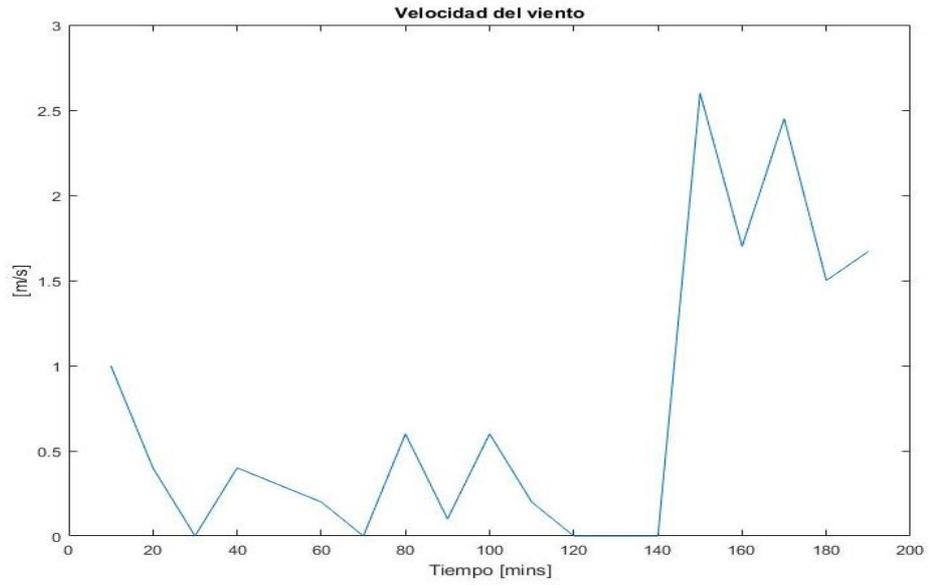
Grafica 1. Temperatura en cámara.



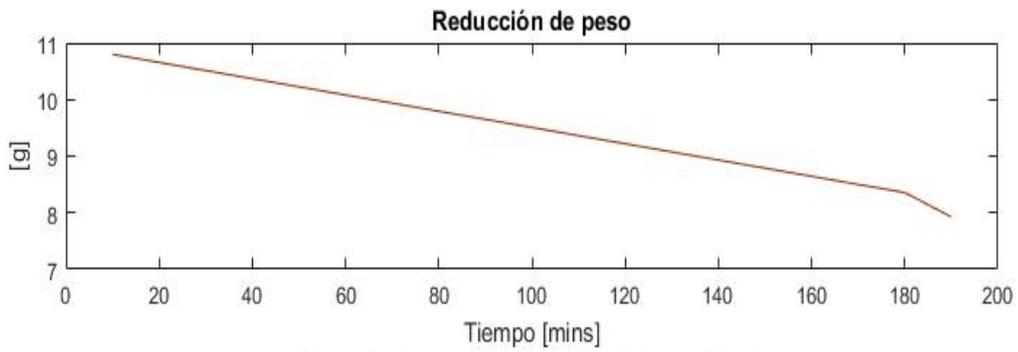
Grafica 2. Radiación



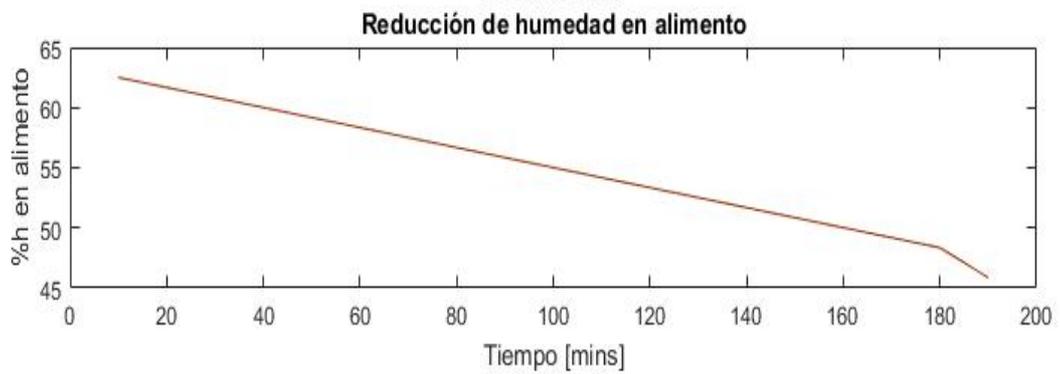
Grafica 3. Humedad en cámara.



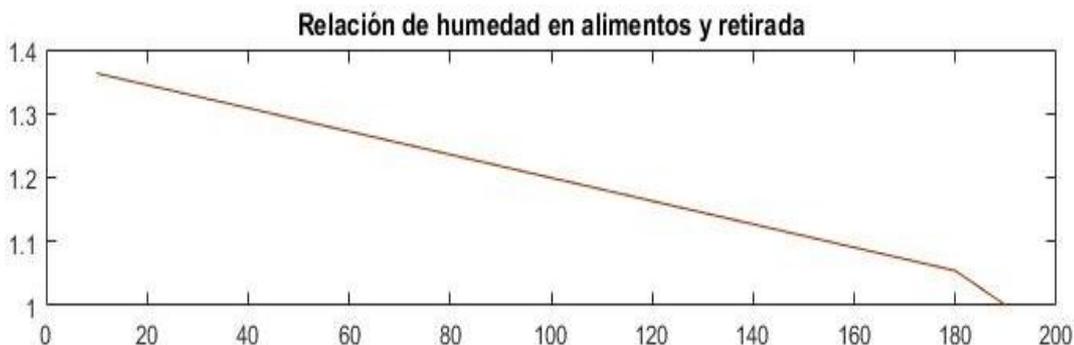
Grafica 4. Velocidad del viento.



Grafica 5. Reducción de peso.



Grafica 6. Reducción de humedad en alimento.



Grafica 7. Relación de humedad en alimentos y retirada

Transición Energética en México

La Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE), es el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias; promover la eficiencia y sustentabilidad energética; así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

La ENTEASE surge en noviembre de 2008 con la publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de la LAERFTE, la cual tiene por objeto el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías limpias.

El Artículo 24 indica que, con el fin de ejercer con eficiencia los recursos del sector público, evitando su dispersión, la ENTEASE comprenderá los mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de las acciones destinadas a promover el aprovechamiento de las tecnologías limpias y energías renovables, así como el ahorro y el uso óptimo de toda clase de energía en los procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.

Conclusión

Realizando el experimento de deshidratación de los chapulines concluimos como equipo que efectivamente este alimento cumple con las características de un alimento rico en proteínas, baja en grasas y rica en nutrientes, como hierro, zinc y vitaminas del complejo B. Se comprobó que al deshidratar los chapulines se elimina un 70% de peso en el alimento, dando como resultado una eliminación del 98% de humedad. Se encontraron resultados de otros experimentos en donde se tiene registro que este alimento deshidratado tienen una vida útil prolongada de aproximadamente 6 meses a 1 año o más si se almacenan adecuadamente en un lugar fresco, seco y protegido de la humedad, la luz y las plagas. Gracias a este experimento se encontró un punto correcto de radiación para que la



temperatura fuera la ideal durante un tiempo adecuado y así lograr la completa deshidratación del alimento.

BIBLIOGRAFÍA

- *Giovani. (2021, diciembre 15). Chapulines: Comida exótica de origen ancestral. Oaxacaautentico.com; Oaxaca Autentico. <https://oaxacaautentico.com/chapulines-comida-exotica-de-origen-ancestral/>*
- *García, A. R., & López, M. S. (2019). Importancia nutricional de los chapulines como alimento en la cultura mexicana. Revista de Nutrición y Sostenibilidad, 5(2), 112-127.*
- *Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 24(ESPECIAL), 72-80.*
- *de la Tejera, B., Santos, Á., Méndez, Y., & Vieyra, A. Procesos agroalimentarios en las relaciones rur-urbanas: un caso en el municipio de Morelia, Michoacán1. CAMBIO, 55.*



7 A review of inflatable solar dryers for drying fruits, vegetables, and grain

Roberto Tenorio-Herrera^{a*}, Carolina Urbina-Cornavaca^a, Rodolfo Espinosa^a,
Apolinar Picado^b

^a*Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua*

^b*Department of Chemical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden*

*Corresponding author: rteherrera@gmail.com

Abstract

This paper presents the features, advantages, and applications of inflatable solar dryers in drying food products, such as fruits, vegetables, and grain. The inflatable solar dryer is a further development of the Hohenheim-type solar tunnel dryer. Due to its low maintenance, environment-friendly, hassle-free, and portable characteristics, the inflatable solar dryer is a favourable alternative for sun drying in rural areas and could be used to obtain high-quality dried food products. The paper may help farmers and researchers for the improvement of this type of dryer.

Keywords: inflatable solar dryer; fruits; vegetables; grain.

Introduction

Drying is an energy-intensive process and solar drying is therefore a preferred method in developing countries with limited resources. Recent studies have focused on the development of solar dryers. In this case, the inflatable solar dryer (ISD) or solar bubble dryer (SBD) is a further development of the Hohenheim-type solar tunnel dryer and is composed of a transparent, ultraviolet (UV)-resistant plastic [e.g., polythene (PE)] top cover and a black reinforced plastic [e.g., polyvinyl chloride (PVC)] drying floor connected by a heavy-duty zipper (see Figure 1). The ISD is inflated using a fan, and therefore it does not need any solid structure as the fan inflates the dryer forming a tunnel; thus, it is collapsible and can easily be transported. Through the transparent top cover, solar radiation enters the drying tunnel and heats the food products being dried. Moisture is then evaporated and pushed out by the fan from the tunnel. The



fan provides ventilation for an even distribution of heat and airflow for moisture removal. The fan is driven by a photovoltaic system for off-grid operation [1, 2].

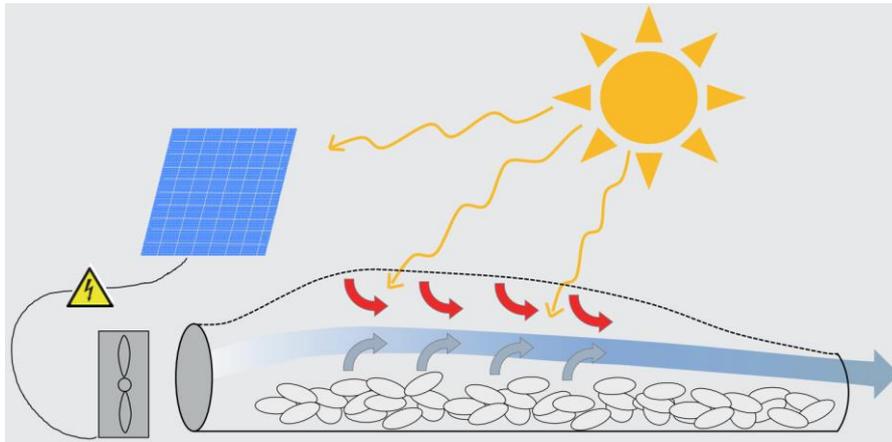


Figure 1. A schematic diagram of an ISD [2].

Features and advantages of Inflatible solar dryers

The ISD is a low-cost drying technology that aims to provide a simple and flexible alternative to sun drying. The main purpose of the ISD is to protect food products from rain, transform solar energy into heat, and lead the drying air over the food products. The ISD uses locally available materials, thus making it economical to build. To ensure that the food products dry evenly, a simple roller with ropes attached to both of its ends is periodically dragged underneath to mix the food products without the need to open the tunnel [3]. Lastly, this dryer has been used to dry a plurality of food products, such as grain, beans, fruits, and vegetables.

Grain

Salvatierra-Rojas *et al.* [3] developed an ISD for drying rice in the Philippines during both rainy and dry seasons. Sun drying and shade drying were performed in parallel for comparison and rice was evaluated for moisture content and quality in terms of milling recovery and head rice yield. Moisture content was reduced from 23% to 14% (wet basis) within 26-52 hours of continuous operation during the rainy season and 16% to 14% within 4-26 hours of drying during the dry season. In both seasons, the final moisture content of 12% was reached after prolonged drying periods. Quality was not affected concerning drying treatment. However, condensation was encountered on the floor of the ISD in some batches during the rainy season experiments.

In Ethiopia, Asemu *et al.* [4] designed an ISD to study the drying behaviour of freshly harvested corn grain. The performance of the ISD was tested at sample loads of 10.87 kg/m² (thin layer), 16.3 kg/m² (medium layer), and 21.74 kg/m² (thick layer) under two mixing conditions, 2- and 3-hour intervals. BH-540 and BH-660 corn



cultivars at 22-29% (wet basis) moisture content were used. The required drying time was highly dependent on the sample load. About 24 hours were required to dry the grain to 13% (wet basis) moisture in the thin-layer compared to 39 hours in the thick-layer. More frequent mixing of corn (2-hour intervals) shortened the drying time by 5-17%.



Figure 2. External (left) and internal (right) views of an ISD [3].

Beans

In the Philippines, Oria and Palconit [5] studied the drying of coffee beans in an ISD, which incorporates steel cans as solar air heaters (SAHs). The steel cans boost the temperature of entering air into the chamber and gradually provide heated air temperature to the bottom parts of the food products (e.g., coffee beans, corn grain).



Figure 3. Design of an ISD with integrated SAHs [5].



The results reveal that 3 batches of 16.3 kg coffee beans may be dried to an ideal moisture content of 12% (wet basis) on the third day or an exact period of 27 hours of drying. However, drying the same amount of coffee beans in the open sun takes 5 days or 47 hours [5].

Tenorio-Herrera and Urbina-Cornavaca [6] investigated the drying of freshly fermented cocoa beans in Nicaragua. The moisture content of 84.6 kg cocoa beans was reduced from 50% down to 7.4% (wet basis) within 5 days, which corresponds to 25.5 accumulated hours of solar radiation. The temperature of cocoa beans was always below the maximum allowable limit (i.e., 65 °C). Shock *et al.* [7] reported the drying of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Uganda. The results show that the drying temperature was approximately 10 °C higher in the ISD compared to the open sun drying. The drying strategy during the night had no considerable effect on the product quality.

Fruits

van-Hung *et al.* [8] studied the drying of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). The ISD includes a perforated elevated floor on which the mushrooms are placed. The perforated floor consists of a net and supporting frame made of inflated plastic beams to be deflated together with the ISD when they are not in use. This modification enables the drying air to move both on the top and underneath the mushrooms increasing drying efficiency and preventing the mushrooms from sticking on the bottom, thus avoiding rewetting the mushrooms (see Figure 4). This converted the drying process from overflow drying to a hybrid of overflow drying combined with flow-through drying. The moisture content of oyster mushrooms was reduced from 90% down to 40-60% within 2-4 hours, thus corresponding to the drying rate at this stage of 10-20% h⁻¹. At the next stage, it took about 4-6 hours corresponding to a drying rate of 2-10% h⁻¹ to reach the required product moisture content of 8-10%.

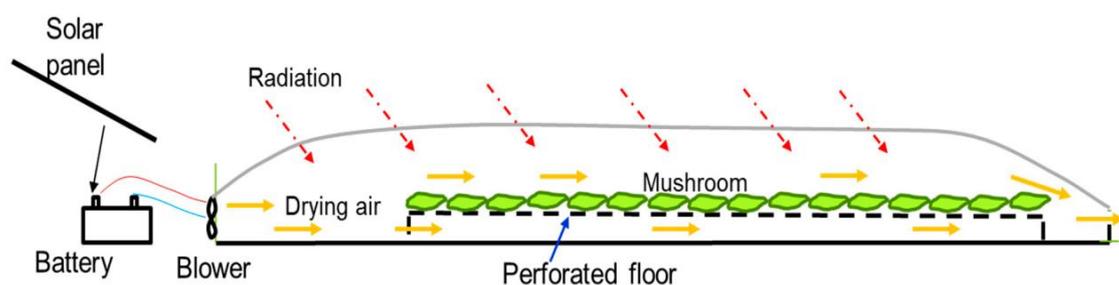


Figure 4. A schematic diagram of an ISD with a perforated floor [8].

Zewdu [9] used a modified ISD that includes a chamber frame (i.e., a rectangular hollow steel) and a perforated floor for drying of red pepper (*Capsicum* L.) in Ethiopia. The results showed that the moisture content was reduced from 71 to 13% (wet basis) in 20 hours of operation. This was achieved within 5 days of



experiments for 4 hours per day at a drying rate of 0.1 kg/h. The total drying time was 20 hours that saves 20% of the drying time when compared with open sun drying.

In general, the ISD with an added perforated elevated floor ensured the quality without any requirement of mixing or turning the food products during drying.

Watson *et al.* [10] investigated the drying of red chilli (*Capsicum L.*) using small- and large-scale ISD in California and India. The average total time to dry red chilli from 70-80% to 10-12% (wet basis) in 4 small-scale trials and 1 large-scale trial was reduced by more than 50% compared to open sun drying. The maximum temperatures recorded in the small-scale and large-scale trials were 79 and 69 °C, respectively.

Vegetables

Romuli *et al.* [11] reported the drying of Amaranth (*Amaranthus L.*) leaves using an ISD. To handle the drying of lightweight materials, a modification was made to the ISD by adding an air deflector and trays inside the ISD. The air deflector prevents blowing away the vegetable leaves from the trays. The air deflector was in the preheating area. To place the vegetable leaves, 21 trays covered with 4×4 mm wire mesh, each with 1065×860 mm surface area were lined up inside the ISD. The temperature inside the ISD could reach up to 69.4 °C during the day and 13.4 °C during the night (see Figure 5).



Figure 5. Placement of trays on wooden frames inside the ISD [11].

Conclusions

An inflatable solar dryer (ISD) or solar bubble dryer (SBD) has the potential to be adopted by small farmers in developing countries, especially in rural areas, to improve the quality of dried food products. The ISD is portable and completely independent of fuel or the power grid, and is, therefore, very cheap to operate. Furthermore, the ISD improves qualitatively and quantitatively the traditional sun-drying process.



References

- [1] R.N. Rojas-Azucena, "The bubble that dries," *Rice Today*, pp. 18-19, 2014.
- [2] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), "Solar rice dryer," TechSheet, 2018.
- [3] A. Salvatierra-Rojas, M. Nagle, M. Gummert, T. de Bruin, and J. Müller, "Development of an inflatable solar dryer for improved postharvest handling of paddy rice in humid climates," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 269-282, 2017.
- [4] A.M. Asemu, N.G. Habtu, M.A. Delele, B. Subramanyam, and S. Alavi, "Drying characteristics of maize grain in solar bubble dryer," *J. Food Process Eng.*, vol. 43, no. 2, e13312, 2020.
- [5] C.L. Oria and E.V. Palconit, "Performance investigation of an inflatable solar dryer with steel-can solar air heater for drying coffee and corn," *Eng. Appl. Sci. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 8707-8711, 2022.
- [6] R.E. Tenorio-Herrera and M.C. Urbina-Cornavaca, "Evaluación de un prototipo de secador solar inflable de bolsa para el secado de cacao," Dipl.-Ing. thesis, Dept. Chem. Eng., Natl. Univ. Eng., Nicaragua, 2023.
- [7] S. Schock, S. Romuli, L. Chupona, J. Müller, "Drying red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) using an inflatable solar dryer: Implication on product quality," in *The Food System Approach: Book of Abstracts of the 5th International ISEKI Food Conference*, Stuttgart, Germany, July 3-5, 2018, pp. 273.
- [8] N. van Hung, L.A. Fuertes, C. Balingbing, A. Paulo Roxas, M. Tala, and M. Gummert, "Development and performance investigation of an inflatable solar drying technology for oyster mushroom," *Energies*, vol. 13, no. 16, 4122, 2020.
- [9] Z. Zewdu, "Design, manufacturing and performance evaluation of modified solar bubble dryer for pepper-vegetable crop," MSc thesis, Dept. Mech. Eng., Addis Ababa Univ., Ethiopia, 2021.
- [10] A.G. Watson, S. Aleckovic, and R. Nallamotheu, "A novel and improved solar drying system appropriate for smallholder farmers," *Dry. Technol.*, vol. 40, no. 11, pp. 2274-2282, 2022.
- [11] S. Romuli, S. Schock, M. Nagle, C.G.K. Chege, and J. Müller, "Technical performance of an inflatable solar dryer for drying amaranth leaves in Kenya," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 16, 3431, 2019.



8 Secado solar de hierba santa (*Piper auritum* Kunth) con ayuda de un secador solar tipo invernadero.

Abraham Espejo Zapata*, Concepción Gabriela Tehuacatl Hernández*, José Gervasio Partida Sedas**

*Ingeniería en Gestión de Redes Agroalimentarias, Centro Regional Universitario Oriente, Universidad Autónoma Chapingo; Huatusco, Veracruz, México.

**Centro de Investigación para el Desarrollo de las Regiones Cafetaleras, Centro Regional Universitario Oriente, Universidad Autónoma Chapingo, Huatusco, Veracruz, México. jpartidas@chapingo.mx, 2731080878.

Resumen

Actualmente, se ha incrementado la tendencia de las personas a consumir alimentos de origen natural y sin conservadores artificiales, de preferencia deshidratados con energía solar.

La hierba santa (*Piper auritum* Kunth) es una planta nativa del trópico que crece en zonas permanentemente húmedas hasta los 1300 msnm. Esta planta contiene aceite esencial con alto contenido de citral (75-85 %); además de geraniol, linalool, metilheptona, citronela, limoneno, diterpeno y otras sustancias benéficas.

Se recolectaron hojas de hierba santa en la zona de Huatusco, Veracruz y se secaron en un secador solar de tipo invernadero.

La metodología aplicada consistió en coleccionar hojas, limpiarlas y pesarlas, se les midió la actividad del agua (a) con un medidor marca WA-60A, porcentaje de humedad mediante una balanza con lámpara de halógeno, el color se determinó mediante la escala Pantone y olor mediante un panel de jueces sensoriales. La deshidratación del lote de hojas se realizó en un secador solar tipo invernadero a una temperatura inicial de 47°C, el tiempo de secado fue de 6 horas. Cada hora se registró la temperatura, humedad relativa, porcentaje de humedad, actividad de agua y peso de las hojas. La masa de hojas pasó de 1.6 kg a un peso final de 224.4 g, es decir que se obtuvo un rendimiento de 14%. La humedad inicial del producto fue de 82.36% disminuyendo a 9.58%. Así mismo en cuanto a la actividad de agua, la inicial fue de 0.93, y la final de 0.57.

El color inicial de las hojas de acuerdo con la escala Pantone fue 370C y el final se encuentra en 371U, presentándose una opacidad de color en el producto final. El olor al inicio del deshidratado en una escala de 1 a 5 se encontraba en un 3 es



decir con una intensidad apenas percibida, después del proceso de deshidratado el olor se percibía en una entre 4.5 y presentó mayor intensidad.

Las hojas de hierba santa fueron deshidratadas rápidamente incrementando la intensidad aromática característica de esta planta, para conservarla y hacer un uso diverso en platillos y medicamentos. El secado solar es una tecnología de bajo costo y muy eficaz para la conservación de alimentos de una manera natural, aprovechando de manera eficiente la energía solar, siendo ésta una alternativa amigable al medio ambiente.

Palabras clave: condimento; planta medicinal; innovación; aprovechamiento.

Introducción

En la actualidad la transformación de alimentos y su conservación se ha vuelto un reto significativo, pues la tendencia hacia consumir alimentos de origen natural y sin conservantes se ha incrementado. Una de las razones son los problemas en la salud de los consumidores debido al incremento de consumo de productos altamente procesados y de origen artificial. También por un aumento en la preocupación por conservar un estado de salud adecuado derivado de las recientes enfermedades y pandemias.

Se considera de mucha importancia la conservación de alimentos pues esto nos permite prolongar la vida útil y poder tener acceso a mercados más distantes, así como a productos fuera de su temporada de cosecha [1].

En México, la "hierba santa" tiene especial importancia, pues además de ser utilizada como condimento en un sin número de platillos, sus hojas también son usadas como emoliente, agente antirreumático, diurético, estimulante y abortivo; además posee actividad antiinflamatoria, antibacteriana, antifúngica y antidermatofítica. Tiene varias sinonimias, entre ellas; momo, cordoncillo, acuyo, tlanepa, hierba de Santa María, hoja de cáncer, totzooy y aguiyu, hoja de aján, hoja santa y hierba santa [2] [3]. Se encuentra en la familia Piperaceae, incluye entre 2,000 y 3,000 variedades.

La hoja santa se distribuye ampliamente desde México, Centroamérica, Colombia y algunas islas del Caribe. Es una especie común en bordes de bosque y en sitios abiertos, matorrales, de 0-1200 msnm [4]; aunque reportan su presencia hasta altitudes de 2260 msnm [3]. Es común encontrar esta especie en el norte del estado de Veracruz, en la Sierra de Huayacocotla, Sierra de Santa Martha y Sierra de los Tuxtlas) [2]. El secado alimentos consiste en quitar la humedad de los productos conservando su sabor, color, aroma y propiedades nutritivas; evitando el crecimiento de microorganismos. [5]

El objetivo de este trabajo fue identificar las mejores prácticas de recolección y transformación de la "hierba santa" (*Piper auritum* Kunth), y de la misma forma desarrollar un protocolo que permita conservar sus propiedades organolépticas



y nutricionales, con ayuda de la deshidratación a través de tecnologías de fácil acceso como el secado solar.

Materiales y métodos

Se colectaron 1.6 kg de hojas en la región de Huatusco, Veracruz; a una altitud de 1600 msnm. Posteriormente, se lavaron con agua destilada, al inicio y final de la deshidratación se midió la actividad de agua (aw), el porcentaje de humedad, el peso de la muestra y el color mediante la escala de Pantone. Posteriormente, las hojas se colocaron en zarandas dentro del secador solar por 6 horas y 30 minutos, realizando un monitoreo cada hora. Se registró la temperatura y la humedad interna del secador solar. Para guardar las hojas y evitar su rehidratación se molieron en una licuadora convencional, para después separar las partículas de mayor tamaño con un cernidor y almacenar las de menor tamaño en frascos plásticos.

Resultados y discusión

El comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire dentro del secador solar permitió la deshidratación del producto en un tiempo muy corto de 6 horas. En la Figura 1 se muestran las variaciones de temperatura y de humedad relativa. La temperatura inicial fue de 46.96°C y la final de 41.86°C, con un promedio de 49°C. El promedio de la humedad relativa 29.63%. La humedad relativa tiene una relación con la temperatura dentro del secador, presentó un descenso y al mismo tiempo la temperatura muestra un aumento. Esto permitió tener una deshidratación muy rápida.

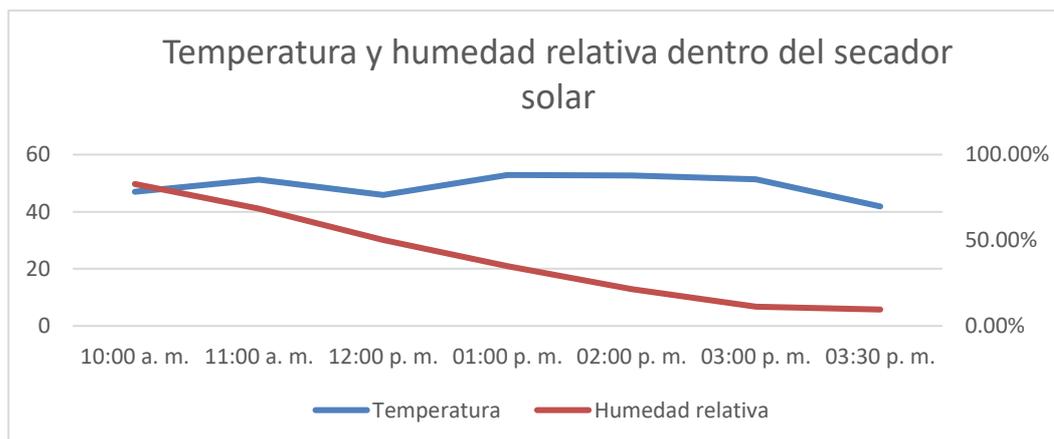


Figura 1. Comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire dentro del secador solar.



La actividad del agua (aw) inicial de las hojas fue de 0.93, 1.6 kg de peso fresco de la muestra y tuvo 82.36% de humedad. El color inicial de las hojas fue de 370 C de la escala Pantone, siendo un comportamiento interesante pues con esta metodología se deshidrató el producto y no perdió sus propiedades de coloración, en comparación con productos secados que se encuentran en el mercado. Esta variabilidad de color sirve también como un atributo que brinda la certeza de que las hojas aún conservan gran parte de las propiedades de interés. Las hojas mostraron un cambio en su color, el cual mostró una opacidad, llegando al tono final 371U.

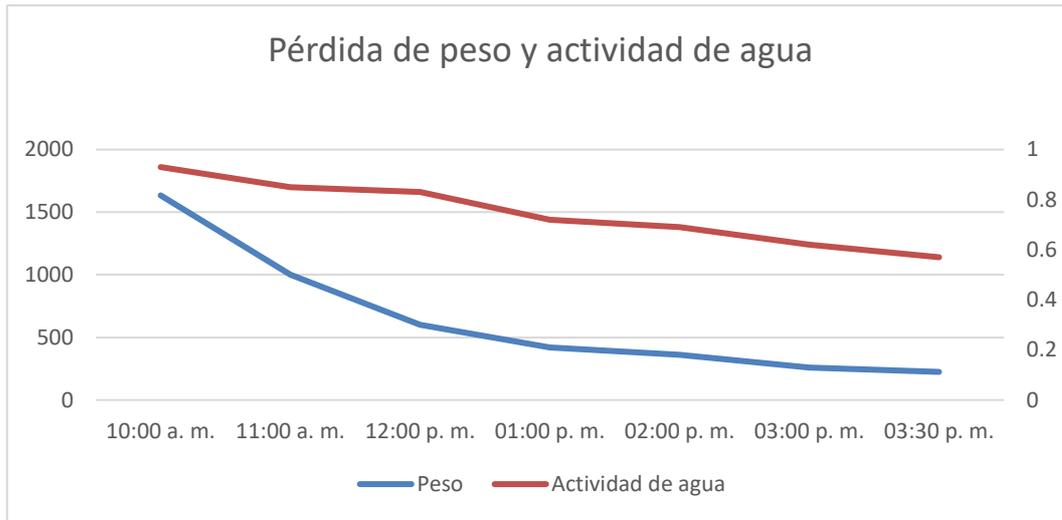


Figura 2. Pérdida de peso y actividad de agua del producto.

Al final del proceso de deshidratación, se registró una actividad de agua de 0.52, la humedad del producto fue de 9.58% y el peso final de 0.2244 kg, siendo el rendimiento de este proceso de 14% (Figura 2) Considerando la aw de 0.6 y su relación con la estabilidad microbiológica, se inhibe el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias, como lo reporta la literatura [6].

El proceso de secado de la "hierba santa" presentó dos etapas, una de descenso rápido en el peso debido a la alta temperatura y baja humedad relativa. Posteriormente presentó una etapa donde la tasa de pérdida de peso es menor. Estos valores representan la forma en cómo se comporta el calor aprovechado en el secador solar, y su aplicación en el secado de productos alimenticios, representando una oportunidad para conservarlos de una manera fácil, ecológica, de bajo costo para tener accesibilidad a productos fuera de temporada, o para alargar su vida de anaquel para trasladarlos a otros lugares geográficos.



Conclusiones

Se encontró la metodología adecuada para deshidratar “hierba santa” mediante el secado solar para su conservación de una manera amigable con el ambiente. La “hierba santa” al ser un producto con muchas propiedades funcionales se debe ser cuidadoso para que en el proceso de deshidratación conserve sus características físicas y químicas. El proceso realizado permitió conservar de la mejor forma las propiedades organolépticas como lo son sabor y olor, abriendo así oportunidades de contar con una tecnología de deshidratación de bajo costo para que este producto esté disponibles fuera de temporada. A pesar de las condiciones adversa del clima de la región se realizó un secado solar eficiente.

Bibliografía

- [1] J. L. P. H. R. V. & F. J. A. G. Martínez, *Deshidratación de alimentos utilizando energía solar, térmica*, CULCyT , 2013.
- [2] C. A. L, *Flora medicinal de Veracruz*, Universidad Veracruzana , 1997.
- [3] J. Ramírez Amezcua, *Piper commutatum (Piperaceae), the correct name for a widespread species in Mexico and Mesoamerica. Acta Botanica Mexicana*, 2016.
- [4] W. Burguer, *Flora costaricensis. Familia Piperaceae. Field Museum Natural History.*, 1994.
- [5] M. T. B. T. O. J. M. M. R. Téllez, *Secado solar y conservación de alimentos*, Ecofronteras, 2021.
- [6] Tapia, *Contribution to the concept of water activity (aw) and its application in food science and technology in latin america and venezuela.*, Comisión editorial 18, 2020.

Agradecimientos

A Dios y nuestras familias por su incondicional apoyo en nuestra vida estudiantil
A la Universidad Autónoma Chapingo por ser nuestra casa de estudios y al CRUO por su destacado apoyo para realizar esta investigación.







9 Secado solar de masa de maíz para harina artesanal en las altas montañas de Veracruz

Morales Rodríguez Karla*, Mendoza Solano Aranza* y Partida Sedas, José Gervasio**

**Ingeniería en Gestión de Redes Agroalimentarias, Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo, Km 6 carretera federal Huatusco-Xalapa. C. P. 94100. Huatusco, Veracruz, México.*

***Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo, Km 6 carretera federal Huatusco-Xalapa. C. P. 94100. Huatusco, Veracruz, México. Correo: jpartidas@chapingo.mx*

Resumen

El maíz es un alimento muy importante a nivel mundial por su valor nutricional, sin embargo, para México es fundamental pues forma parte de su gastronomía y cultura. La harina de maíz se utiliza principalmente para hacer tortillas y otros productos esenciales en la alimentación mexicana. La harina de maíz aporta carbohidratos, proteínas, vitamina A y minerales. Existe un grave problema en México de pérdida de granos en campo y en el almacenamiento por plagas y enfermedades, la elaboración de harina artesanal mediante el uso de secadores solares puede ser una alternativa viable para evitar mermas y conservar este alimento fundamental para tenerlo disponible todo el año. El objetivo de este trabajo fue demostrar que es posible elaborar harina de maíz de manera artesanal utilizando maíz criollo, utilizando un secador solar, para aprovechar la producción de agricultores locales de las regiones de las altas montañas de Veracruz.

Se comparó el maíz morado criollo vs blanco comercial. Las muestras de 1.864.2 Kg de grano fueron nixtamalizadas, el grano se molió en un molino de mano y la masa resultante se colocó en zarandas en un secador solar multipropósitos tipo invernadero. Durante el proceso de secado, se monitoreó la actividad de agua y el porcentaje de humedad de la masa, así como la temperatura y humedad relativa dentro y fuera del secador. El maíz criollo tuvo un secado más rápido (10.7 horas menos) y ligeramente mayor rendimiento en harina (2% mayor).

Palabras clave: Harina, nixtamalización, maíz criollo, maíz comercial.

Introducción

La cadena agroalimentaria del maíz representa una actividad económica importante, que presenta fluctuaciones en su precio durante todo el año. [1]. El maíz es un cultivo de importancia nacional pues forma parte de la dieta de casi el 100% de los mexicanos y conforma la identidad cultural y gastronómica del país. En México a lo largo de la historia, las semillas mejoradas han sido introducidas, causando una disminución en



la agrobiodiversidad debido a la competencia contra maíces criollos que se ve impulsada con prácticas de agricultura convencional y enganchadas con el modelo de la revolución verde. Visto desde otro enfoque, la agricultura tradicional para la producción de maíz, conocida como el sistema de roza-tumba-quema, se lleva a cabo en gran parte de la sierra, generalmente en áreas cercanas a cafetales y pastizales. La importancia de estos cultivos en la producción de maíz es significativa. Se conserva la tradición de la agricultura milpera, la cual se basa en un proceso de reciclaje de nutrientes. Este proceso implica el uso y conservación de áreas de selva o bosque en etapas maduras, así como la regeneración de bosques secundarios y campos cultivados. [2]

Una de las principales problemáticas en la producción de maíz se da en el almacenamiento postcosecha afectando a más del 40% de la producción, pues los productores se enfrentan a plagas como el gorgojo (*Sitophilus zeamais*), el barrenador (*Rhizopertha dominica*), palomilla (*Sitotroga cerealella*) y roedores, (*Ratus ratus*). [4] Por esta razón el 60 % de los productores desgranar alrededor del 70% de su cosecha, y la llevan al mercado sin importar el precio, a fin de evitar su pérdida. El 30% restante se dirige al autoconsumo, sin embargo, este porcentaje solo cubre un par de meses. [5]

El presente trabajo se realizó con la finalidad de mostrar que es posible elaborar artesanalmente harina de maíz mediante el secado solar, como una forma más segura de almacenar la producción, evitando las pérdidas postcosecha, y a su vez obtener un producto con valor agregado que se puede colocar en el mercado regional. Con este proyecto se contribuye a la seguridad y soberanía alimentaria de las comunidades rurales de las altas montañas de Veracruz.

Metodología

Se utilizaron 1.864 Kg de maíz de cada variedad: blanco comercial y morado criollo cultivado a 1330 msnm en la región de Huatusco, Veracruz. El proceso se llevó a cabo de manera artesanal, nixtamalizando el maíz, para posteriormente ser molido en un molino manual marca Corona. La masa molida se colocó en zarandas dentro de un secador solar multipropósito tipo invernadero durante dos días.

Esta metodología se ejecutó de acuerdo con la norma NOM-F 46-S 1980, para la harina de maíz nixtamalizado, asegurando la sanidad y buenas prácticas de manufactura del producto. Durante el secado solar los datos que se registraron fueron temperatura de la masa, la actividad de agua (aw) y la pérdida de peso durante la deshidratación, así como la temperatura y humedad relativa en el interior del secador solar que se monitoreó con un datalogger marca HOB0.

El procedimiento de nixtamalización consistió en: seleccionar el maíz, retirando los



defectos, de cada muestra se obtuvieron solo 1.864 Kg. Cada muestra se puso a hervir en una olla de peltre con 2 L de agua y se añadieron 70 g de cal. Cuando el agua comenzó a hervir, se introdujo el maíz. Una vez que el nixtamal se enfrió se lavó con agua potable, se pesó la masa y se determinó actividad de agua con un medidor marca WA-60A, se midió el porcentaje de humedad del nixtamal con ayuda de una balanza con lámpara de halógeno marca OHAUS modelo MB40. Después del proceso de secado solar se determinó actividad de agua y el porcentaje de humedad de la masa deshidratada. Posteriormente el producto se molió manualmente con un molino marca Corona. La masa obtenida, se llevó al secador solar, se colocó en zarandas, y se tuvo un control en la toma de datos. Durante todo el procedimiento, se respetó la NOM-F-83: donde se toma en cuenta el color, olor, sabor y aspecto, y teniendo en cuenta que el producto debe ser granulado con una finura del 75% como mínimo.

Resultados

Se comparó el comportamiento del secado sola de harina de maíz criollo y comercial. Durante el proceso de elaboración, se presentó un rendimiento ligeramente mayor del maíz criollo con respecto al comercial, desde el grano a nixtamal, nixtamal a masa, de masa a harina y de grano a harina, la variación porcentual fue de entre el 1 al 3% (Figura 1).

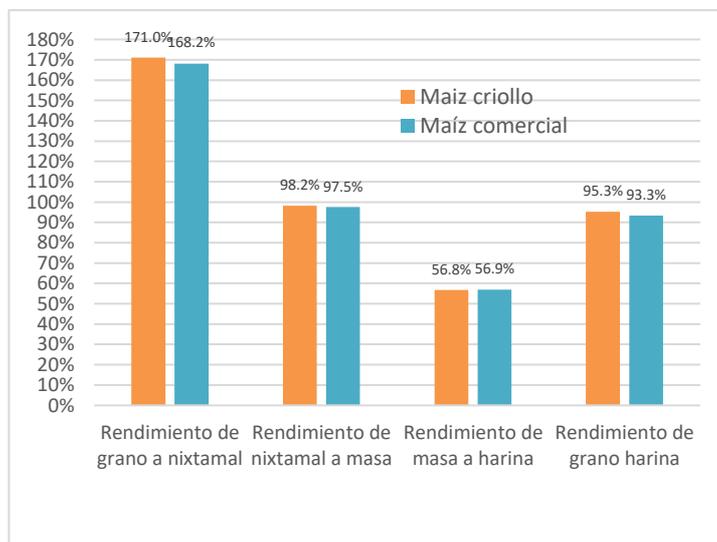


Figura 1. Rendimientos durante el proceso de elaboración de harina de maíz nixtamalizado.

Durante el proceso de secado solar se analizó el comportamiento de la masa nixtamalizada de maíz criollo y comercial. En la Figura 2 se observa el comportamiento para diferentes variables medidas a la masa de maíz nixtamalizado tanto del criollo como del maíz comercial. En la figura 2 se aprecia el comportamiento de la temperatura de ambas muestras durante el secado solar, la masa de maíz criollo tuvo una temperatura promedio de 33.4°C, mayor al maíz comercial que fue de 28.5°C.



Este comportamiento quizá se deba a que el maíz criollo fue de color morado y absorbió mayor radiación solar con respecto al maíz blanco comercial. Esto se confirma en la figura 3 donde se observa el comportamiento de la pérdida del peso en la masa del maíz criollo que fue más rápido a diferencia del comercial, con respecto al tiempo de secado solar fue de 22.6 horas y 33.3, horas respectivamente. En la figura 4, se muestra un comportamiento similar con relación a la variable porcentaje de humedad de la masa nixtamalizada, el maíz criollo tuvo una pérdida rápida en comparación del comercial. En la figura 5, se muestra el comportamiento de la actividad del agua (A_w) en la masa, en el caso del maíz comercial la disminución del valor de la A_w es estable hasta el final hasta llegar a un valor de 0.59, mientras que en el maíz criollo hubo una caída drástica en la A_w en muy poco tiempo hasta llegar a un valor de 0.53. Esto quizá se deba a que la absorción de radiación solar es más eficiente y tiene un efecto de acumulación lo que provoca la pérdida rápida del agua en la masa y que se logre llegar a un valor óptimo de A_w más rápido para poder conservar de manera segura la masa deshidratada por mucho tiempo sin riesgo de deterioro. En la figura 6 están las muestras de harina de maíz en el secador solar.

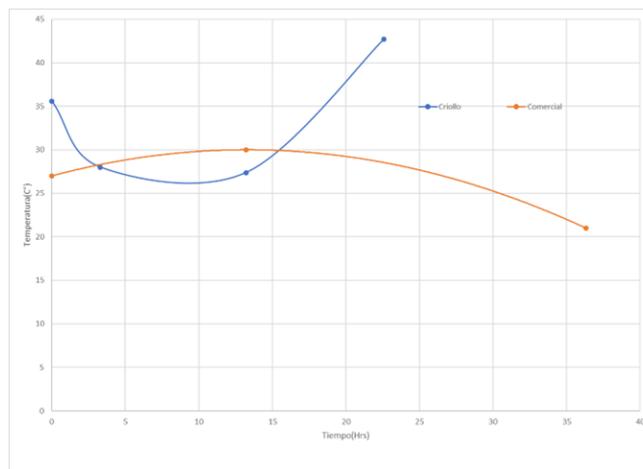


Figura 2. Comportamiento de la temperatura de la masa en el secador solar

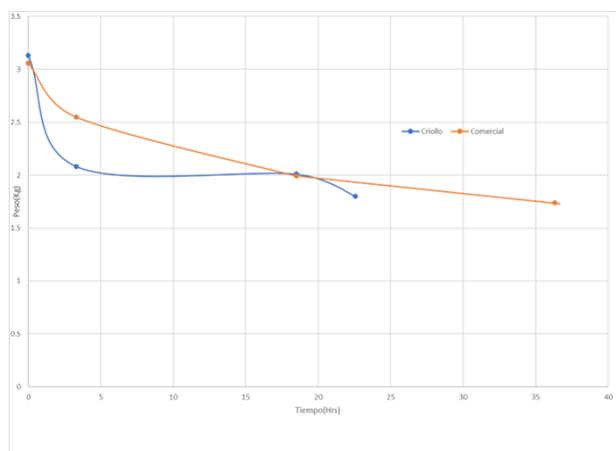


Figura 3. Comportamiento de la pérdida de peso de la masa durante el secador solar

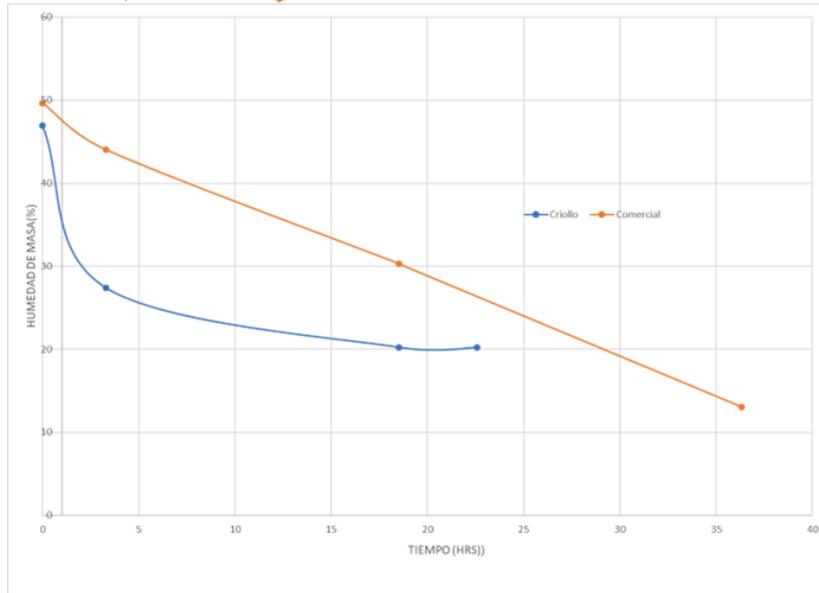


Figura 4. Comportamiento de la humedad de la masa durante el secador solar

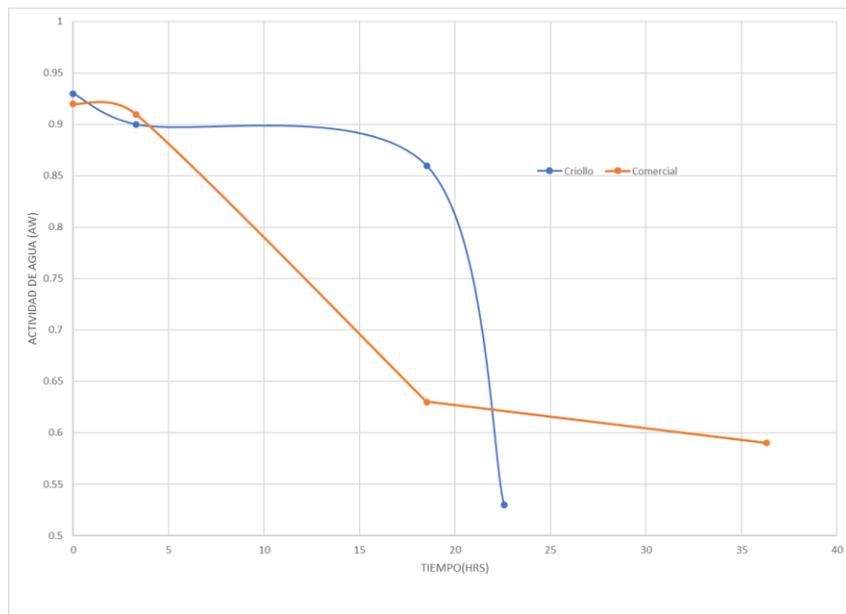


Figura 5. Comportamiento de la actividad de agua de la masa durante el secador solar



A. Secado de la masa nixtamalizada de maíz criollo

B. Secado de la masa del comercial

Figura 6. Secador solar de harina de maíz nixtamalizado.

Conclusiones

Se demostró que es posible obtener harina de maíz de alta calidad mediante un proceso artesanal utilizando un secador solar, teniendo el maíz morado criollo un mejor comportamiento. El producto obtenido presenta alta estabilidad debido a su baja actividad del agua lo que permitirá su almacenamiento por un periodo prolongado de tiempo, en las condiciones adversas para el almacenamiento de granos como lo es la región de las altas montañas en el Estado de Veracruz, que presenta temperaturas y humedades relativas altas y problemas con plagas y enfermedades durante el almacenamiento de maíz.

Bibliografía

- [1] G. V. Sánchez, «Science Direct,» 5 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0185084917300324#fig0015>.
- [2] N. H. Cruz, «La jornada,» La jornada del Campo, 21 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.jornada.com.mx/2021/08/21/delcampo/articulos/alternativa-conservacion-granos.html>. [Último acceso: 25 septiembre 2023].
- [3] Gobierno de México, «Gobierno de México,» 22 octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/evaluan-investigadores-alternativas-para-mitigar-la-plaga-de-almacen-en-maiz-nativo?idiom=es>.
- [4] P. D. Luna, «Vanguardia Veracruz,» 1 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://vanguardiaveracruz.com/estancada-la-produccion-de-maiz-en-veracruz/>.
- [5] G. V. Sanchez, «Scienct Direct,» 4 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0185084917300324#fig0015>.
- [6] C. P. Vázquez, «Universo,» 9 JULIO 2019. [En línea]. Available: <https://www.uv.mx/prensa/reportaje/en-riesgo-cultivo-de-maiz-en-mexico/>.
- [7] <https://www.jornada.com.mx/2021/08/21/delcampo/articulos/alternativa-conservacion-granos.html>, «La jornada,» La jornada del Campo, 21 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.jornada.com.mx/2021/08/21/delcampo/articulos/alternativa-conservacion-granos.html>. [Último acceso: 25 septiembre 2023].







10 Optimización de un deshidratador solar mixto tipo túnel, con pruebas de agua y simulación numérica

Daniel Hernández Tamayo^{a*}, Octavio García Valladares^b, Alfredo Domínguez Niño^b, Jean Fulbert Ituna Yudonago^c

^a Posgrado del Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, México, hetad@ier.unam.mx

^b Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, México

^c Ingeniería en Aeronáutica, Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, Tolcayuca, México.

Resumen

El objetivo de este trabajo es la mejora del deshidratador solar mixto tipo túnel. El secador solar recibe calor a través de la radiación directa que incide sobre la superficie transparente de las paredes del túnel y por el aire que es calentado con radiación solar mediante un sistema de calentamiento de aire, que consta de cuatro colectores solares de placa plana conectados en serie a un ventilador accionado con paneles fotovoltaicos que direcciona el aire caliente al interior del túnel. Se llevaron a cabo pruebas en donde se secaron 12 kg de chilacayote, a 3 flujos máscicos del ventilador (0.09, 0.072 y 0.047 kg/s) y se obtuvieron cinéticas de secado en base húmeda para cada uno (una cinética al inicio, a la mitad y al final del túnel) obteniendo humedades finales del 10%, 12% y 13.2% en tiempos de secado de 7, 8, 10 h respectivamente. Se realizó una simulación numérica en estado estacionario en ANSYS fluent con los datos obtenidos en las pruebas experimentales, utilizándose los flujos de entrada y temperatura de entrada al túnel. Una vez realizadas las simulaciones se obtuvieron los perfiles de velocidad dentro y a la salida del túnel para observar el comportamiento del aire sobre las charolas de secado, y así poder hacer cambios para lograr la mejor distribución de este.



Palabras clave: energía solar; deshidratador solar mixto; secado solar; optimización; simulación numérica.

Abstract

The objective of this work is the improvement of the tunnel-type mixed solar dehydrator. The solar dryer is heated by direct radiation on the transparent surface of the tunnel walls and by air heated by solar radiation through an air heating system, which consists of four flat plate solar collectors connected in series to a fan driven by photovoltaic panels that directs the hot air into the tunnel. Tests were carried out where 12 kg of Chilacayote were dried, at 3 fan air mass flows (0.09, 0.072 and 0.047 kg/s), and drying kinetics were obtained for each one (one kinetic at the beginning, in the middle and at the end of the tunnel) obtaining final humidities of 10%, 12% and 13.2% in drying times of 7, 8 and 10 h respectively. A numerical simulation was carried out in steady state in ANSYS fluent with the data obtained in the experimental tests using the inlet flows and inlet temperature to the tunnel. Once the simulations had been carried out, the velocity profiles were obtained inside and at the outlet section of the tunnel to observe the behavior of the air on the drying trays, and thus be able to make changes to achieve the best air distribution.

Keywords: solar energy; mixed solar dehydrator; solar drying; optimization; numerical simulation.

Introducción

La demanda de productos secos ha ido aumentando no solo en productos agrícolas como lo es el maíz, arroz, garbanzo, etc., sino también en la industria, ya que el secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales, biológicos o no, sean más adecuados para su manejo. En especial para los alimentos se usa como técnica de preservación ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua [1]. Los productos alimenticios, particularmente las frutas y verduras requieren aire caliente en el rango de temperatura de 45-60 °C para un secado efectivo, es decir, el secado de los productos para mantener con poca afectación sus propiedades comestibles y nutritivas, en particular las proteínas y algunos minerales [2]. En los países tropicales, el secado de productos agrícolas se ha llevado a cabo al aire libre. La desventaja del secado al aire libre es que la velocidad de secado lenta, así como pérdidas por ataques de insectos, animales y contaminaciones microbianas. Como resultado, la calidad de los productos es muy pobre y no pueden competir en el mercado internacional [3].



Metodología

Se realizaron pruebas secando chilacayote a diferentes flujos de aire y se obtuvieron las cinéticas de secado. Adicionalmente, se realizó la simulación numérica en ANSYS fluent en la cámara de secado del deshidratador tipo túnel, para poder observar la distribución del flujo del aire dentro de la misma.

Instrumentación

Las mediciones de temperatura e irradiancia se realizaron cada minuto, al igual que las mediciones de flujo de aire a la entrada y de la humedad del ambiente dentro y fuera del secador; las mediciones a la salida del flujo de aire se hicieron cada 15 minutos, la ubicación de los sensores se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Ubicaciones de sensores de temperatura, humedad, flujo e irradiancia.

Descripción del equipo

El deshidratador solar tipo túnel consta de cuatro colectores de aire conectados en serie (cada uno con un área de 1.8 m^2), acoplado a un ventilador de 500 W de corriente directa con un arreglo de sistemas fotovoltaicos, el cual manda el aire caliente de los colectores al interior del secador. La cámara de secado tipo túnel mide aproximadamente 5.50 m y tiene una capacidad para 40 charolas de aluminio $0.43 \text{ m} \times 0.63 \text{ m}$.

Pruebas en el secador tipo túnel con chilacayote

Se llevó a cabo el secado de chilacayote, para ello se llenó el secador con 300 gramos (± 20 gramos) en rebanadas de 5 mm en cada charola (Figura 2a), dando un total de 12 kg de chilacayote a secar. Posteriormente se probaron las velocidades del ventilador de 4000, 3000 y 2000 rpm, (0.09, 0.072 y 0.047 kg/s) y se sacaron tres cinéticas de secado para cada velocidad (una cinética al inicio, a la mitad y al final del túnel como se puede mostrar en la Figura 2b). Se obtuvieron eficiencias de secado del 10%, 9% y 5% y eficiencias en los colectores de aire del 45%, 35% y 42% respectivamente.



Se obtuvieron las cinéticas de secado y se compararon las dos con la mayor y menor velocidad del ventilador, ver Figura 3, en donde se puede observar que la cinética de secado con mayor flujo másico se secó 3 horas más rápido que las pruebas cuando se utilizó un flujo másico menor.



Figura 2: cinéticas de secado en el túnel

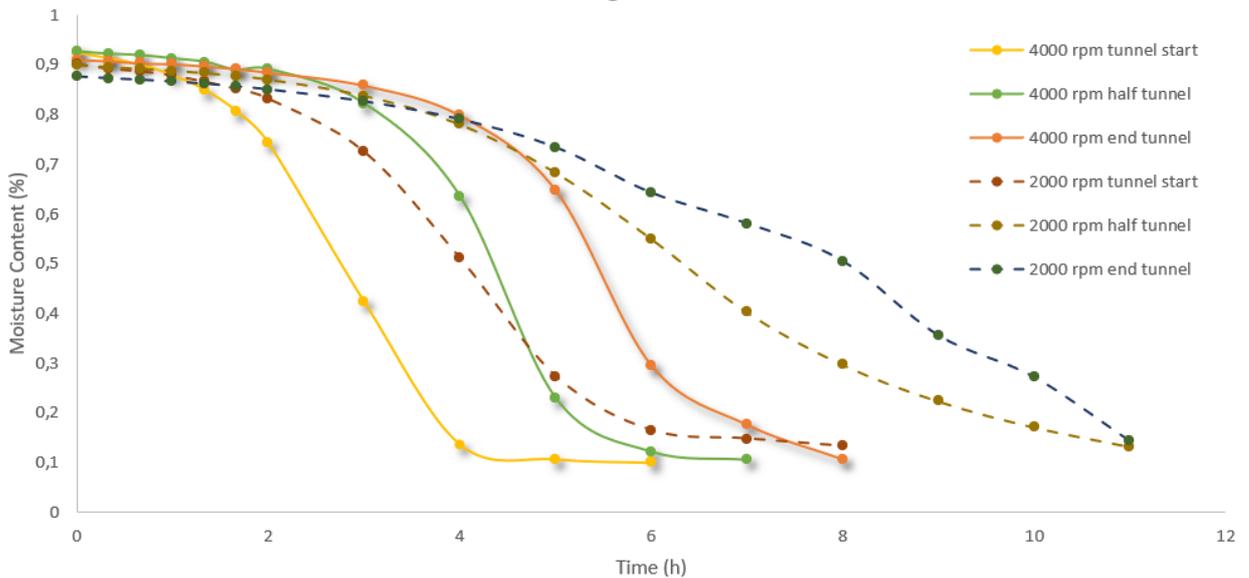


Figura 3 Comparación de cinéticas de secado en el túnel

Simulación ANSYS fluent del secador tipo túnel

Se realizó una simulación para validar el flujo a la salida del secador, con las pruebas realizadas con charolas. Para ello se inició dibujando y mallando el secador tipo túnel como se muestra en la Figura 4, se obtuvo un total de 408268 nodos y 2090056 de elementos.

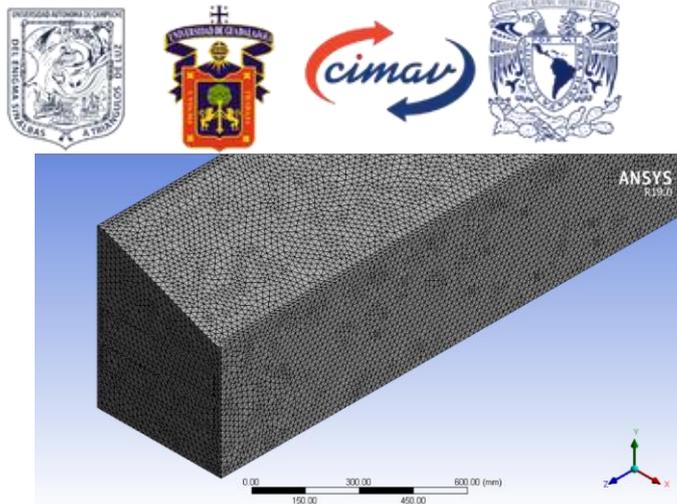


Figura 4. Malla del secador solar tipo túnel

Se obtuvieron las condiciones de frontera en la entrada, para las cuales se midió la velocidad en el difusor para la parte superior del difusor y para la parte inferior del mismo, usando un promedio de las velocidades de entrada. También se usó la temperatura promedio a la que el secador trabajo durante el día de la prueba. Se obtuvieron los perfiles de velocidades a la salida que se pueden observar en la Figura 5 en rangos de colores en donde el color amarillo va en el rango de 2.3 m/s hacia el color rojo en rango de velocidades de 3.08 m/s, los cuales son muy parecidos a los obtenidos en las pruebas reales con el secador (Tabla 1).

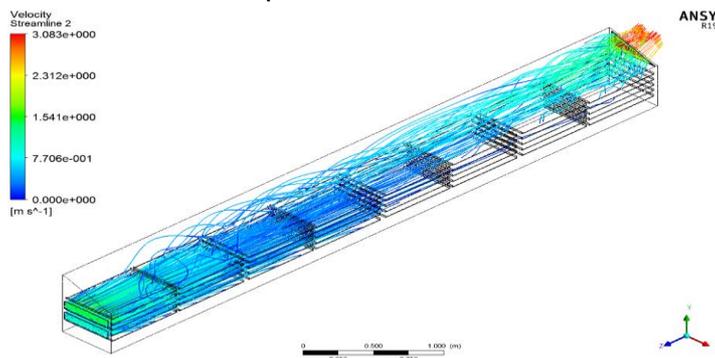


Figura 5. Perfil de velocidad vista isométrica

Tabla 1 Velocidades a la salida en la experimentación

14 de Febrero 4000 Revoluciones	
Hora	Velocidad a la salida del secador (m/s)
11:00:00 a. m.	2.57
11:20:00 a. m.	2.7
11:40:00 a. m.	2.55
12:00:00 p. m.	2.68
12:20:00 p. m.	2.61
12:40:00 p. m.	2.56
01:00:00 p. m.	2.54
01:20:00 p. m.	2.58
01:40:00 p. m.	2.71
02:00:00 p. m.	2.62
02:20:00 p. m.	2.58
02:40:00 p. m.	2.62
03:00:00 p. m.	2.52
Promedio	2.60

Se realizaron dos simulaciones más en las cuales se modificó la salida de aire del secador tipo túnel. En el primer caso se movió la salida del túnel a la mitad del túnel (Figura 6) donde se puede observar que el flujo pasa por las charolas y ya no sube hasta la parte superior del túnel de secado.



Se realizó otra simulación adicional en donde se movió la salida justo en la última charola del túnel como se muestra en Figura 8, en donde se puede observar que de la misma manera que a la mitad del túnel el flujo de aire cubre a la mayoría de las charolas manteniendo la velocidad de salida como en la primera simulación. Lo que se pretende con esta simulación es realizar la experimentación cambiando la salida al centro del secador en la cara xy para observar el comportamiento, el cual por lo visto en la simulación sería un secado más homogéneo.

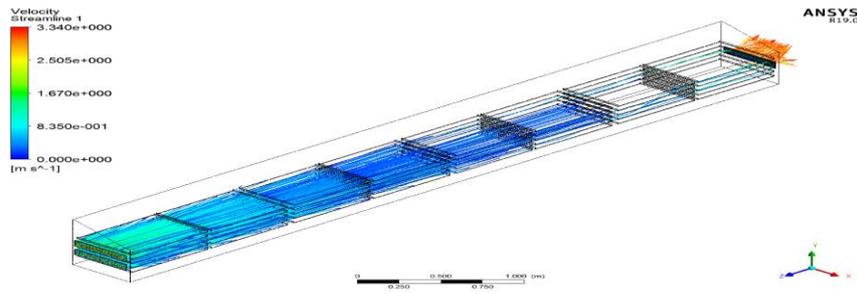


Figura 6. Perfil de velocidad vista isométrica

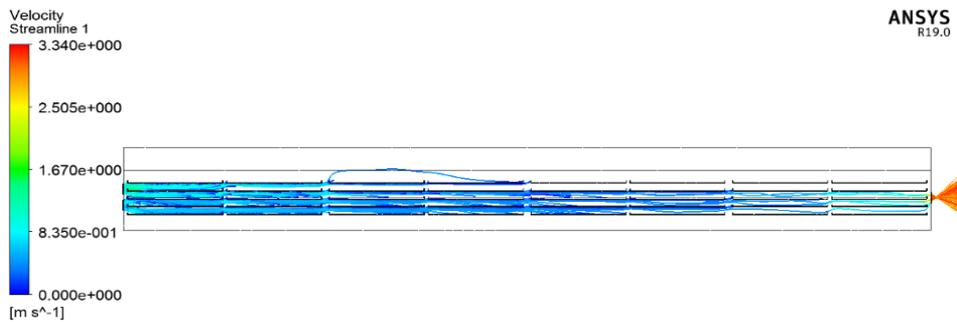


Figura 7. Perfil de velocidad vista eje x

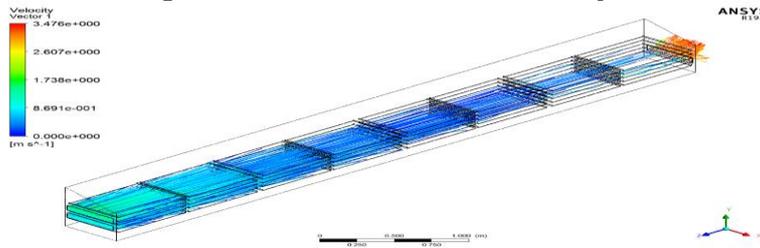


Figura 8. Perfil de velocidad vista isométrica

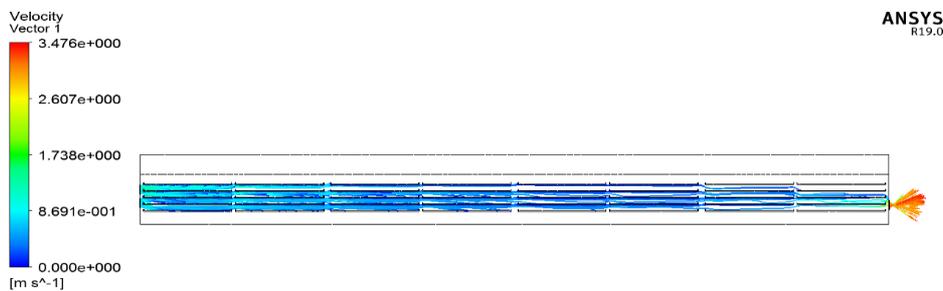


Figura 9. Perfil de velocidad vista eje x



Conclusiones

El contenido de humedad final del Chilacayote fue de 10.8 % con un flujo másico de aire 0.09 kg/s y 8 h de secado con una eficiencia de secado de 9.56 %. Para el flujo 0.047 kg/s se obtuvo un contenido de humedad final de 13.53 % con 11 h de secado y una eficiencia de secado de 5.04 %.

La simulación numérica nos mostró el comportamiento del flujo de aire al interior del deshidratador solar tipo túnel y con ello permite realizar cambios a la salida del túnel para mejorar la distribución del flujo de aire sobre las charolas.

Se diseñó, construyó y evaluó un deshidratador solar tipo túnel para la deshidratación de productos agrícolas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se pueden secar diferentes tipos de productos lo que resulta en ahorros sustanciales de combustible y beneficios ambientales.

Agradecimientos

Proyecto PAPIIT IN103021 (secado solar de productos agropecuarios) y proyecto CONACYT 319188 Centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos

Referencias

- [1] Abarca, A., & Aldaz, M. (24 de Enero de 2014). Diseño y construcción de un secador rotatorio para la obtención de escamas de pet. Riobamba, riobamba, Ecuador.
- [2] Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A., & Jain, A. (2016). Thermal energy storage based solar drying systems: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86-99.
- [3] Lakshmi, D., Muthukumar, P., Layek, A., & Nayak, P. K. (2019). Performance analyses of mixed mode forced convection solar dryer for drying of stevia leaves. *Solar Energy*, 507-518.





11 Cocina Solar Parabólica

Autores:

Rosales Rodríguez María Fernanda^a.

Martínez Contreras Diego Valeriano^a.

Zepeda Plascencia José Luis Alejandro^a.

^a Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara. Tonalá, Jalisco, México.

Resumen

La cocina solar surge como solución a la búsqueda de herramientas y tecnologías económicas y sostenibles que cuiden el medio ambiente reduciendo la huella de carbono. Esta alternativa aprovecha la captura y concentración de la radiación solar para generar calor, calentando y/o cocinando alimentos de manera eficiente, sostenible y generando 0 emisiones contaminantes.

Su estructura parabólica favorece a la reflexión de los rayos solares en un solo punto donde se concentra el alimento. Para su elaboración se aprovecharon materiales en desuso para su reutilización.

Este proyecto presenta una alternativa de cocción solar parabólica para alimentos como el queso de vaca que será fundido, el cual se obtiene a temperaturas estimadas de 80°C. Midiendo las condiciones iniciales y finales de humedad, temperatura.

Palabras Claves: Cocina solar, disco parabólico, cocción sustentable.

Introducción

La cocina solar es una forma innovadora y sostenible de preparar deliciosos platillos al aire libre, aprovechando el poder del sol como fuente de energía, en un mundo que busca constantemente alternativas energéticas más amigables con el medio ambiente, esta técnica emerge como una solución prometedora.



Una de las recetas más sorprendentes y satisfactorias que se obtiene de la fusión de esta técnica y la tradición en la preparación de un alimento, es la tradicional fondue suiza, queso de vaca derretido con el poder del sol.

Objetivos

General

Aprovechar la radiación solar concentrada para fundir queso (fondue), utilizando espejos enfocando la luz solar en un punto de calor.

Específico

- Construir un dispositivo que permitan la cocción solar como alternativa sustentable para el proceso de alimentos.
- Caracterizar el recurso.
- Caracterizar el dispositivo y su interacción y aprovechamiento del recurso solar.
- Procesar los datos.
- Interpretar datos.

Metodología

Dentro del proyecto se definieron y sistematizaron un conjunto de técnicas, métodos y procedimientos para el desarrollo de este, obteniendo así la siguiente metodología.

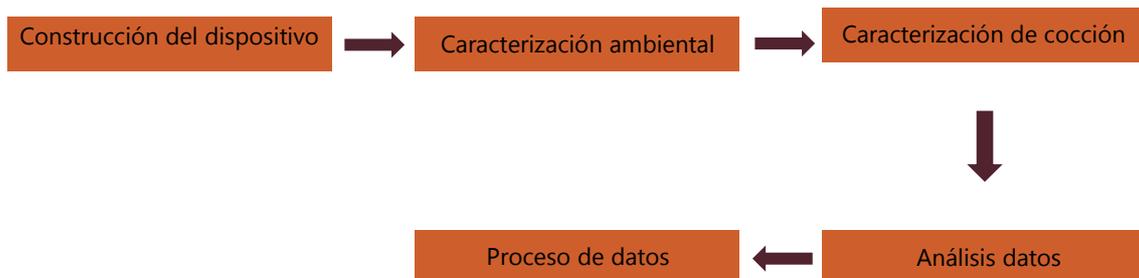


Ilustración 2 Proceso de la metodología para el desarrollo del proyecto. Elaboración propia.

A	B
----------	----------

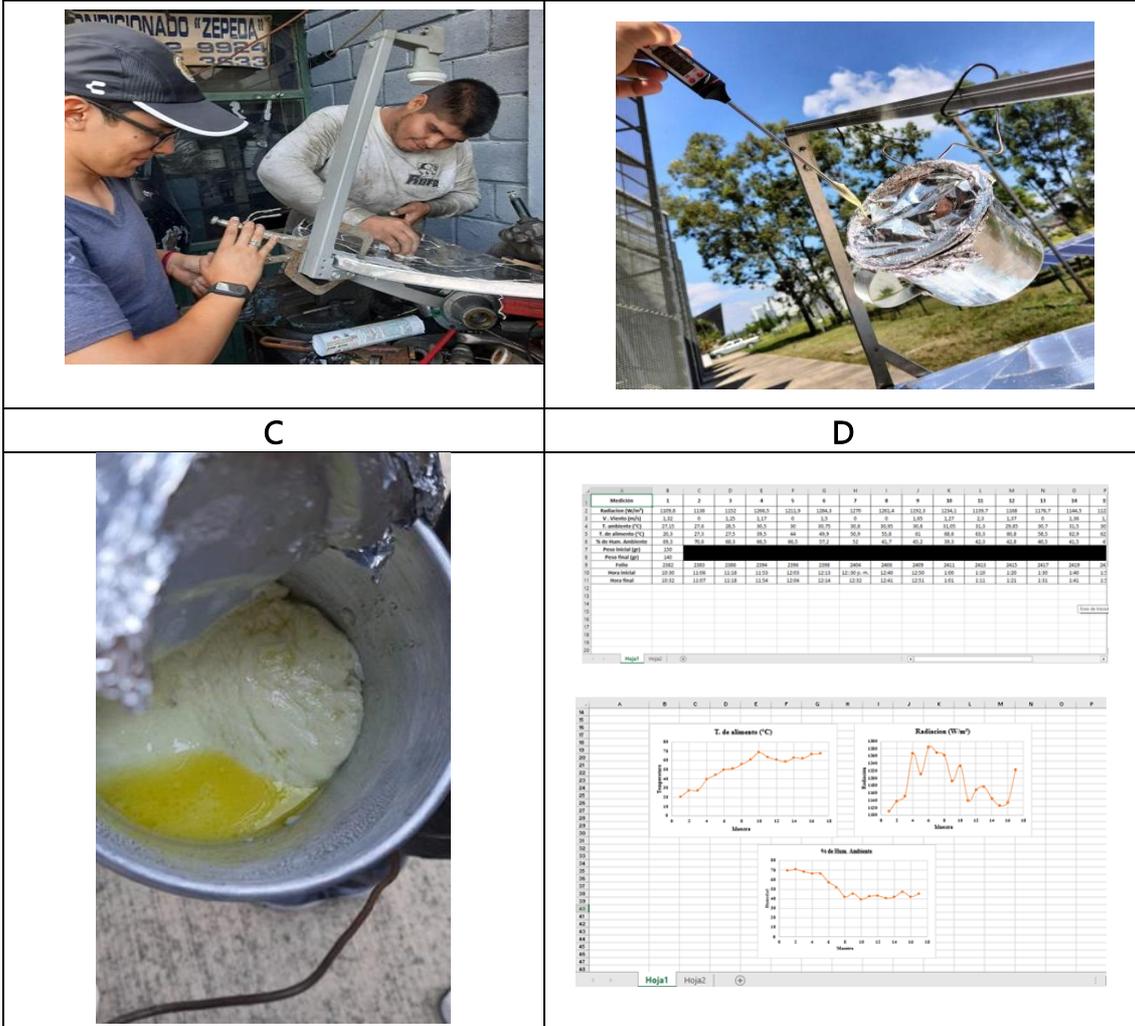


Ilustración 3 Evidencia de la realización de la metodología. Elaboración propia.

A través de la Ilustración 1, se presenta un esquema del enfoque metodológico que describe el proceso seguido en el desarrollo de este proyecto.

En la Ilustración 2, se muestra la implementación de la metodología previamente delineada en la Figura anterior, representada de la siguiente manera:

- A. Construcción del dispositivo.
- B. Caracterización ambiental.
- C. Caracterización de cocción.
- D. Análisis y proceso de datos.



Resultados

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Radiación (W/m ²)	1109.8	1138	1152	1266.5	1211.9	1284.3	1270	1261.4	1192.3
V. Viento (m/s)	1.32	0	1.25	1.17	0	1.5	0	0	1.65
T. ambiente (°C)	27.15	27.6	28.5	30.5	30	30.75	30.8	30.95	30.6
T. de alimento (°C)	20.3	27.3	27.5	39.5	44	49.9	50.9	55.8	61
% de Hum. Ambiente	69.3	70.6	68.3	66.5	66.5	57.2	52	41.7	45.2
Peso inicial (gr)	150								
Peso final (gr)	140								
Folio	2382	2383	2386	2394	2396	2398	2404	2406	2409
Hora inicial	10:30	11:06	11:16	11:53	12:03	12:13	12:30	12:40	12:50
Hora final	10:32	11:07	11:18	11:54	12:04	12:14	12:32	12:41	12:51

Tabla 1 Resumen de las primeras 9 mediciones durante la caracterización. Elaboración propia.

10	11	12	13	14	15	16	17
1234.1	1139.7	1168	1176.7	1144.5	1125.4	1134.5	1224.2
1.27	2.3	1.37	0	1.36	1.5	1.2	1.3
31.05	31.3	29.85	30.7	31.5	30.5	30.5	30.3
68.6	63.3	60.8	58.5	62.9	62.1	66.5	67.3
39.3	42.3	42.8	40.5	41.5	47	41.8	45.2
150							
140							
2411	2413	2415	2417	2419	2421	2423	2425
1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10
1:01	1:11	1:21	1:31	1:41	1:51	2:01	2:11

Tabla 2 Resumen de las últimas 7 mediciones durante la caracterización. Elaboración propia.

Los valores consignados en la Tabla 1 y la Tabla 2 representan los resultados derivados de la caracterización. Este proceso se efectuó el 21 de septiembre de 2023 en Tonalá, Jalisco, México, abarcando un período desde las 10:30 a.m. hasta las 2:11 p.m. durante el cual se realizaron sucesivas tomas de datos.



En ese día específico, se registró un cielo nublado. Según la investigación titulada "Datos de Radiación Solar para el Estado de Jalisco y la Zona Metropolitana de Guadalajara, México", llevada a cabo por Aida Fajardo en 2017, la cual ofrece un análisis exhaustivo de los niveles de radiación en Jalisco a lo largo de los 12 meses del año, se destaca que, en dicho estado, el mes de septiembre se caracteriza por una disminución en la radiación solar debido a su transición de verano a otoño.

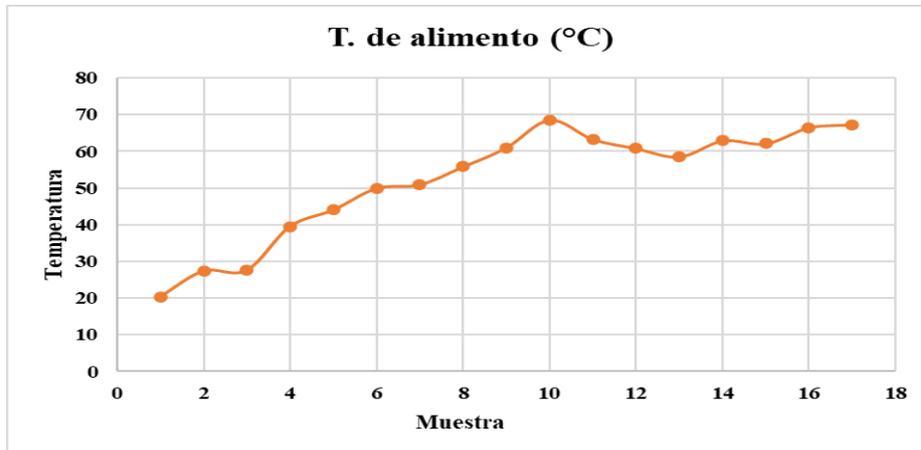


Ilustración 4 Temperatura de cocción en el alimento. Elaboración propia.

En la Ilustración 3, se presentan los resultados de la medición de la temperatura del alimento. Los datos muestran un aumento inicial de la temperatura hasta alcanzar un máximo de 68.6°C, seguido de un descenso de aproximadamente 10 grados. Luego, la temperatura experimenta un segundo ascenso, acercándose nuevamente a su valor máximo. En este punto, el queso se encontraba completamente fundido.

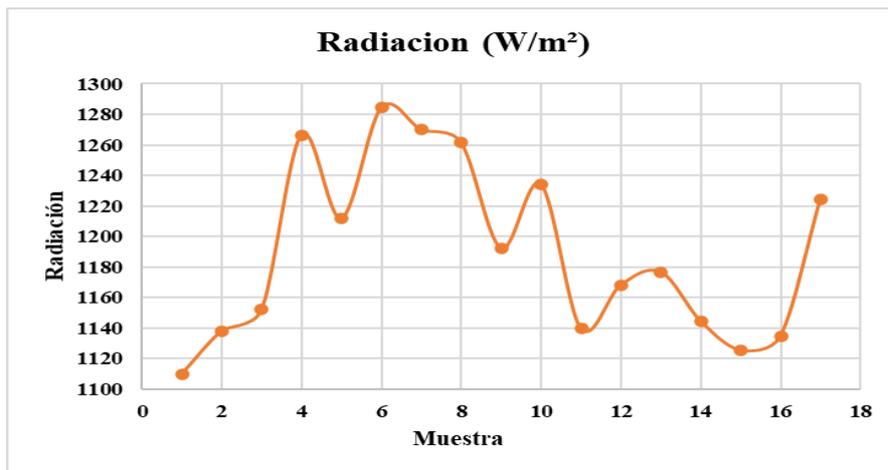


Ilustración 5 Radiación solar presentada durante la caracterización. Elaboración propia.



La gráfica representada en la Ilustración 4 presenta los registros de radiación solar. En ella, se pueden apreciar las variaciones ascendentes y descendentes que se relacionan con las características mencionadas previamente en el contexto del mes de septiembre.

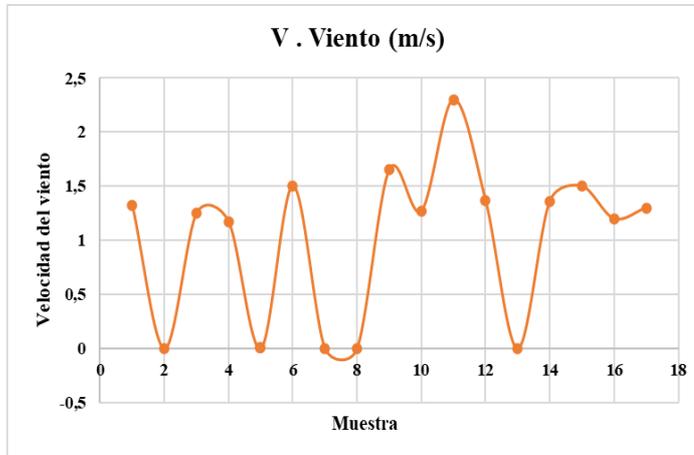


Ilustración 6 Velocidad presentada durante el proceso. Elaboración propia.

En lo que respecta a la velocidad del viento, se puede apreciar en la Ilustración 5 una representación gráfica que refleja la variabilidad observada durante el proceso de caracterización. Esta variabilidad incluyó momentos en los que se registró viento notable y otros en los que la ausencia de viento fue evidente.

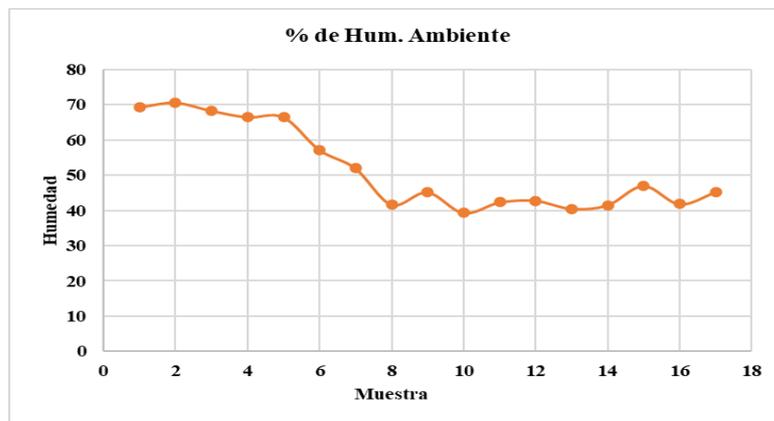


Ilustración 7 Porcentaje de humedad registrada durante el proceso. Elaboración propia.

De acuerdo con los datos recopilados sobre el porcentaje de humedad ambiental durante la jornada de caracterización, se puede apreciar en la representación gráfica de la Ilustración 6 que los valores iniciales fueron los más elevados en las primeras 5 mediciones, alcanzando un pico del 70.6% de humedad. Luego, la humedad descendió a un 39.3% y no superó el 45.2% en las mediciones posteriores.



Transición Energética en México

La Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía (ENTEASE), es el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias; promover la eficiencia y sustentabilidad energética; así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

La ENTEASE surge en noviembre de 2008 con la publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de la LAERFTE, la cual tiene por objeto el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías limpias.

El Artículo 24 indica que, con el fin de ejercer con eficiencia los recursos del sector público, evitando su dispersión, la ENTEASE comprenderá los mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de las acciones destinadas a promover el aprovechamiento de las tecnologías limpias y energías renovables, así como el ahorro y el uso óptimo de toda clase de energía en los procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.

Conclusión

La cocina solar no es solo una forma efectiva y sostenible de cocinar alimentos, sino también un paso importante hacia la transición energética en México. Aprovechar el abundante recurso solar del país no solo reduce la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también mejora la calidad de vida de las comunidades marginadas y contribuye a la sensibilización sobre la energía solar. Para un México más sostenible y resiliente, la cocina solar merece ser considerada como una solución prometedora en el camino hacia una matriz energética más limpia y eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- "Renewable Energy Prospects Mexico", International Renewable Energy Agency, [2015]. Accedido noviembre 29, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.irena.org/publications/2015/May/Renewable-Energy-Prospects-Mexico>
- A.L. Portillo, "Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento". CIEP. [2017]. Accedido noviembre 29, 2023. [En línea]. Disponible: <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>
- González-Avilés, M.; López-Sosa, L.B.; Servín-Campuzano, H.; González-Pérez, D, "Adopción tecnológica sustentable de cocinas solares en comunidades indígenas y rurales de Michoacán", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 16, núm. 1, pp. 273-282, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62049878026.pdf>
- Ulloa-Godinez, H. H., García-Guadalupe, E. M., Ramírez-Sánchez, U. H., Regla-Carrillo, C. J., & Fajardo-Montiel, L. A. Solar radiation data for the state of Jalisco and Guadalajara metropolitan zone, Mexico. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 6(03), 205. [2017]. [En línea]. Disponible: https://www.scirp.org/html/1-2570151_76752.htm





12 Secado solar de hojas de ruda (*Ruta graveolens*) mediante un secador mixto tipo gabinete

Ana María Lucho Gómez^{a*}, Alfredo Domínguez Niño^{a,b}, Octavio García Valladares^a, Rosa María Chávez Santos^c y Paulina Guillén Velázquez^a

^a*Departamento de Sistemas energéticos, Instituto de Energías Renovables-UNAM, Temixco, Morelos, México*

^b*Dirección Adjunta de Desarrollo Científico, Cátedra CONACYT-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad de México, México*

^c*Departamento de Química Orgánica, Instituto de Química-UNAM, Ciudad de México, México.*

*amlugo@ier.unam.mx

Resumen

La ruda (*Ruta graveolens*) es una planta herbácea perenne, con un olor fuerte y desagradable. Se emplea en la elaboración de salsas o mezclas alcohólicas; y algunos de sus usos medicinales que se le dan son como antiséptico, contra dolores reumáticos, cólicos, entre otros. Forma parte de la gran riqueza natural mexicana, pero el conocimiento que se tiene sobre esta planta es limitado; sin embargo, para poder conservarla requiere de un acondicionamiento especial. A pesar de que el secado solar es un método poco estudiado para prolongar la vida de anaquel de las plantas aromáticas, resulta una importante alternativa de conservación. Por esa razón el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del secado solar sobre las propiedades fisicoquímicas de la ruda (*Ruta graveolens*) utilizando un secador solar mixto tipo gabinete de mediana capacidad. Se utilizó un diseño de experimentos 2^3 , donde los factores fueron la malla sombra, el ventilador y el tipo de cubierta del colector, con 2 niveles (alto y bajo). Las variables de respuesta que se analizaron fueron el contenido de humedad, actividad de agua, diferencia de color y actividad antioxidante. Los resultados obtenidos en el análisis realizado mostraron que en la cinética de secado el tiempo más corto fue de 3.5 horas para la corrida 3 (sin malla sombra, con ventilador, colector con cubierta de policarbonato), para el



contenido de humedad el valor más bajo fue de 3.4%, mientras que para la actividad de agua fue 0.375; estas dos variables de respuesta se vieron favorecidas cuando no se usó la malla sombra. Con el uso de la malla sombra se obtuvo la diferencia de color más baja (4.46), y el mejor porcentaje de actividad antioxidante final con 53%. Al existir poca información sobre el secado solar de ruda, los datos obtenidos pueden ser útiles para estudios posteriores.

Palabras clave: ruda; malla sombra; actividad antioxidante; color; humedad

Introducción

Las plantas aromáticas y medicinales se caracterizan por su capacidad para sintetizar compuestos (metabolitos secundarios) en una o más partes de la planta como la raíz, tallo, hojas, flores, frutos o semillas. Los metabolitos secundarios que se producen en las plantas tienen propiedades específicas que permiten su uso con fines terapéuticos, aromáticos y alimenticios [1]. En la industria alimentaria y en la investigación científica, se ha prestado atención a las plantas aromáticas y sus extractos, esto debido a sus propiedades antioxidantes, las cuales les permiten competir con otros antioxidantes naturales y sintéticos [2].

La ruda (*Ruta graveolens*) es una planta herbácea con olor fuerte y desagradable [3]. Debido a su toque picante y amargo se emplea en la cocina, aunque por su aroma se utiliza en diferentes salsas o mezclas alcohólicas [4]. Algunos de los usos medicinales que se le dan son como antiséptico, estimulante, utilizado contra dolores reumáticos, cólicos, entre otros [5]; sin embargo, el uso directo e indirecto de las hierbas aromáticas, como la ruda, requiere un acondicionamiento especial [6].

Un método que se considera apropiado para conservar los principios activos de las plantas aromáticas es el secado, esto cuando se aplican los tratamientos adecuados [7], ya que, un proceso inadecuado induce a la volatilización de los principios activos, así como cambios desfavorables en el color, el olor y reduce la calidad del producto [8]. El secado es un método que elimina el agua de los productos agrícolas perecederos, hasta un nivel donde se inhibe el crecimiento de microorganismos y retarda las reacciones bioquímicas enzimáticas y no enzimáticas indeseables, dando como resultado una vida útil prolongada [9]. Cuando se emplea la energía radiante del sol se trata del secado solar, el cual es considerado un método eficiente para productos agrícolas [10].

A pesar de ser un método usado ampliamente, existen pocos datos disponibles sobre el secado de ruda, por ello en este trabajo el objetivo fue evaluar el efecto del secado solar sobre sus propiedades fisicoquímicas, utilizando un secador solar mixto tipo gabinete de mediana capacidad.

Metodología



Para realizar el proceso de secado de ruda se propuso un diseño de experimentos 2^3 , en la Tabla 1 se muestran los factores y niveles del diseño.

Tabla 3. Diseño de experimentos con factores y niveles

Factor	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
Malla sombra	Sin malla	Con malla
Ventilador	Sin ventilador	Con ventilador
Tipo de cubierta del colector	Policarbonato	Vidrio

La materia prima que se utilizó en los experimentos fue la ruda fresca (Figura 1), la cual se obtuvo en el mercado de Cuernavaca, Morelos. Se seleccionaron las hojas que no tuvieran daño físico.



Figura 8. Muestra fresca de ruda

El secador solar mixto tipo gabinete de mediana capacidad, en el cual se realizaron las pruebas, consta de dos partes fundamentales, un colector solar plano para calentar el aire y una cámara de secado con cubierta de policarbonato. Para los experimentos se usaron dos secadores con diferentes colectores, uno con cubierta de policarbonato y otro con cubierta de vidrio (Figura 2). El secador cuenta con un ventilador, que se encuentra en la parte trasera de la cámara de secado. Además, se utilizó una malla sombra del 70%, la cual se colocó sobre la cámara de secado, esto cuando lo requiera la corrida experimental.



a)



b)

Figura 9. Secadores solares de gabinete con colector solar, a) Colector con cubierta de policarbonato, b) Colector con cubierta de vidrio.



De acuerdo con el diseño de experimentos propuesto, se realizaron 8 corridas experimentales. Se midió el contenido de humedad, la actividad de agua, el color y la actividad antioxidante. El contenido de humedad se determinó con una termobalanza (OHAUS); la actividad de agua fue determinada con un medidor de actividad de agua HygroLabC1. El color se midió con un colorímetro portátil (NR60CP). Y finalmente la actividad antioxidante fue determinada utilizando el método de la actividad atrapadora del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidazil (DPPH), descrita por Chaves [11], con algunas modificaciones.

Resultados y discusión

Cinéticas de secado

En la Figura 3 se muestran las cinéticas de secado obtenidas para la ruda, donde el tiempo más cortó se registró para la corrida 3 (colector con cubierta de policarbonato, ventilador y sin malla sombra), con 3.5 horas. Mientras que el experimento 7 (colector con cubierta de vidrio, ventilador y malla sombra) fue el más largo con 7 horas. En un estudio realizado por Lagunes [12] se reportó un tiempo de secado de 1 hora, al utilizar un deshidratador solar tipo gabinete, sin embargo, el contenido de humedad inicial en la planta era menor al reportado en este trabajo, además, las temperaturas alcanzadas dentro del secador fueron de 75°C, superiores a las que se registraron en este estudio.

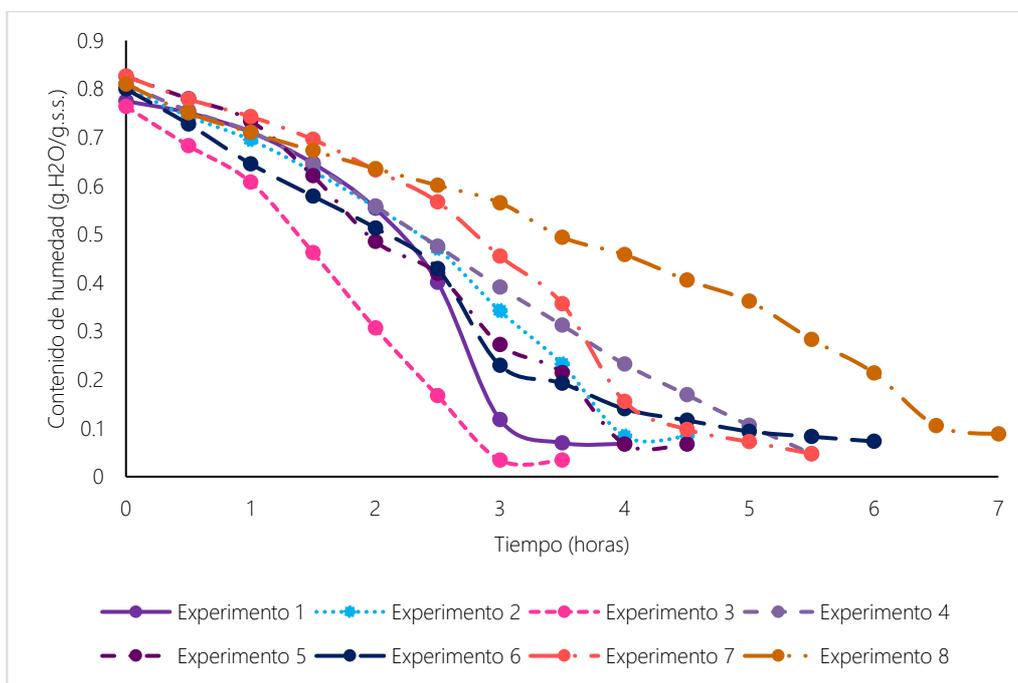


Figura 10. Cinéticas de secado obtenidas para la ruda

Contenido de humedad



La humedad de la muestra fresca estuvo entre 76 y 82%, pero al someterla al proceso de secado se obtuvieron valores por debajo del 10%, como se muestra en la Tabla 2. Lagunes [12] reportó un contenido de humedad inicial de 69%, un poco menor que el reportado en este trabajo, esto puede atribuirse a la zona de donde se cultivó la planta; mientras que el contenido de humedad final fue del 4%.

Actividad de agua

El valor inicial de actividad de agua fue de 0.95; después del proceso de secado se registraron valores por debajo del 0.6 (ver Tabla 2), lo cual garantiza que se conservará por más tiempo ya que se inhibe el crecimiento de los microorganismos a esos valores de actividad de agua.

Tabla 4. Resultados obtenidos para las variables de respuesta

Corridas	Factores			Humedad final (%)	Actividad de agua final	Variables de respuesta			
	X ₁	X ₂	X ₃			Parámetros de color			
						L	a	b	ΔE
1	-1	-1	-1	6.8	0.517	23.94	-4.58	13.14	11.72
2	+1	-1	-1	8.3	0.443	30.17	-6.53	18.79	10.9
3	-1	+1	-1	3.4	0.375	26.19	-5.59	16.64	8.96
4	+1	+1	-1	4.7	0.498	34.73	-5.72	21.23	13.35
5	-1	-1	+1	6.7	0.471	25.86	-5.91	16.05	11.15
6	+1	-1	+1	7.2	0.490	31.61	-6.24	17.4	4.46
7	-1	+1	+1	4.7	0.492	45.65	-9.19	24.5	12.06
8	+1	+1	+1	8.7	0.393	33.08	-4.17	16.31	5.6

Diferencia de color (ΔE)

Uno de los parámetros de calidad más importantes durante el proceso de secado es el color, ya que se considera un indicador de la degradación del pigmento de compuestos importantes por reacciones enzimáticas y no enzimáticas [27]. Por esta razón, al finalizar el proceso de secado se midió el color de las muestras, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2. De acuerdo con estos datos, las muestras presentaron una baja diferencia de color, sin embargo, las corridas 2, 3, 6 y 8 fueron las que tuvieron los valores más bajos. En la Figura 4 se observan las muestras secas comparadas con la muestra fresca y se notó que no presentaron tanto cambio en su color final. Los tiempos de secado fueron cortos y las temperaturas dentro de la cámara de secado no estuvieron por arriba de los 60°C, lo cual favoreció la



conservación del color, ya que, las altas temperaturas y la larga duración del secado provocan daños en el color [14].



Figura 11. Muestras de ruda secas comparadas con la muestra fresca

Actividad antioxidante

En la Figura 5 se muestran los resultados del porcentaje de reducción del DPPH de las diferentes muestras secas comparadas con la muestra fresca, a una concentración de 100 $\mu\text{g/ml}$. En la figura se observa que la muestra fresca tuvo un porcentaje de reducción del 51%, mientras que para las muestras secas este porcentaje disminuyó en la mayoría, excepto en las corridas 3 y 4. En un estudio realizado por Diwan [15] sobre la composición fitoquímica y potencial antioxidante de líneas de cultivo *In vitro* de la ruda, se reportaron valores entre 50% y 64% para el caso de las raíces y brotes, mientras que Castro [16] reportó una actividad antioxidante del 55%, similar a la obtenida en este trabajo.

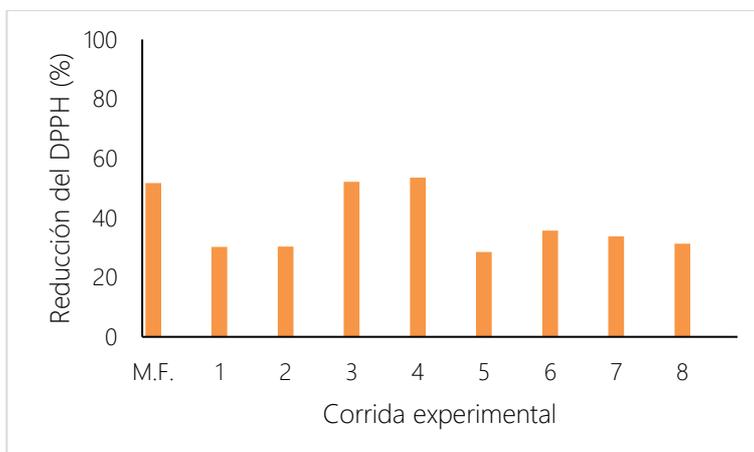


Figura 12. Actividad antioxidante en las diferentes muestras de ruda



Conclusiones

Durante el proceso de secado de la ruda los valores más bajos para el contenido de humedad y la actividad de agua fueron 3.4% y 0.375, respectivamente, los cuales se obtuvieron cuando se usó el colector con cubierta de policarbonato, el ventilador, pero sin la malla sombra. El uso de la malla sombra dio buenos resultados para la diferencia de color y la actividad antioxidante, pero el nivel de los otros dos factores fue distinto, ya que cuando se utilizó el colector con cubierta de vidrio, pero sin el ventilador, se obtuvo la diferencia de color más baja con 4.46; mientras que cuando se usó el colector con cubierta de policarbonato y el ventilador, la actividad antioxidante fue de 53%.

De acuerdo con lo mencionado, lo recomendable es hacer uso de la malla sombra para obtener una actividad antioxidante alta aún después del proceso de secado y que el producto sea atractivo a la vista. Es necesario tener en cuenta que la actividad antioxidante puede variar según la parte de la planta utilizada, la variedad de la planta y el método de extracción, por lo tanto, es importante considerar la fuente y preparación de las muestras a evaluar.

De igual forma se obtuvieron valores de humedad y actividad de agua favorables, ya que todos estuvieron por debajo del 10% para el caso de la humedad y 0.6 para la actividad de agua, lo que nos indica que nuestro producto se puede conservar por más tiempo.

Referencias

- [1] X. Aguirre Dugua, I. Castillo Juárez y L. d. M. Ruiz Posadas, «Usos actuales y potencial de las plantas aromáticas y medicinales,» *Agro-Divulgación*, vol. 2, nº 2, pp. 53-63, 2022.
- [2] M. Suhaj, «Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, p. 531–537, 2006.
- [3] S. A. Parray, J. u. Bhat, G. Ahmad, N. Jahan, G. Sofi y S. M. F. Iqbal, «Ruta graveolens: from Traditional System of Medicine to Modern Pharmacology: an Overview,» *American Journal of PharmTech*, vol. 2, nº 2, 2012.
- [4] Instituto de Ecología (INECOL), «Planta del mes: Ruda Ruta graveolens,» [En línea]. Available: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/37-planta-del-mes/1323-ruda>. [Último acceso: 09 Diciembre 2022].
- [5] A. Ivanova, B. Mikhova, H. Najdenski, I. Tsvetkova y I. Kostova, «Antimicrobial and cytotoxic activity of Ruta graveolens,» *Fitoterapia*, vol. 76, p. 344–347, 2005.
- [6] T. S. B. Rao y S. Murugan, «Solar drying of medicinal herbs: A review,» *Solar Energy*, vol. 223, p. 415–436, 2021.
- [7] M. C. Ndukwu, M. Simo-Tagne y L. Bennamoun, «Solar drying research of medicinal and aromatic plants: An African experience with assessment of the economic and environmental impact,» *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, vol. 13, nº 2, pp. 247-260, 2021.
- [8] S. Shalaby, M. Darwesh, M. Ghoname, S. E. Salah, Y. Nehela y M. Fetouh, «The effect of drying sweet basil in an indirect solar dryer integrated with phase change material on essential oil valuable components,» *Energy reports*, vol. 6, pp. 43-50, 2020.



- [9] B. Mahayothee, T. Thamsala, P. Khuwijitjaru y S. Janjai, «Effect of drying temperature and drying method on drying rate and bioactive compounds in cassumunar ginger (*Zingiber montanum*),» *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 18, 2020.
- [10] C. A. Menchaca Valdez y R. B. Recio Colmenares, «Secado solar de alimentos,» de *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, pp. 126-133.
- [11] N. Chaves, A. Santiago y J. C. Alías , «Quantification of the antioxidant activity of plant extracts: analysis of sensitivity and hierarchization based on the method used,» *Antioxidants*, vol. 9, nº 76, 2020.
- [12] F. Lagunes, I. Estrada, J. Guerrero y R. Navarrete, «Cinética de secado solar en productos del huerto familiar huasteco,» *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook*, pp. 113-130, 2013.
- [13] D. P. García Moreira, H. Hernández Guzmán, N. Pacheco, J. . C. Cuevas Bernardino, E. Herrera Pool, I. Moreno y E. C. López Vidaña, «Solar and Convective Drying: Modeling, Color, Texture, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) Slices,» *Processes*, vol. 11, 2023.
- [14] A. Orphanides, V. Goulas y V. Gekas, «Drying Technologies: Vehicle to High-Quality Herbs,» *Food Eng Rev*, vol. 8, p. 164–180, 2016.
- [15] R. Diwan, A. Shinde y N. Malpathak, «Phytochemical Composition and Antioxidant Potential of *Ruta graveolens* L. In Vitro Culture Lines,» *Journal of Botany*, 2012.
- [16] A. J. Castro L, J. R. Juárez E, N. J. Ramos C, S. Suárez C, F. Retuerto P y S. A. Gonzales E, «ELUCIDACIÓN ESTRUCTURAL DEL ACEITE ESENCIAL DE *Ruta Graveolens* L. RUDA, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y BIOENSAYO DE CITOTOXICIDAD,» *Ciencia e Investigación*, vol. 14, nº 1, pp. 25-28, 2011.



13 Optimización de parámetros de una caja de almacenamiento térmico: un estudio numérico basado en el método gráfico

Sandra Ayala Zambrano^{*a}, Robert Jäckel^b, Geydy Luz Gutiérrez Urueta^a, Alberto Ramos Blanco^a, Cintia Monreal Jiménez^a y Gilberto Mejía Rodríguez^a

^aUniversidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Dr. Manuel Nava No. 8, Col. Zona Universitaria Poniente, San Luis Potosí C.P. 78290, San Luis Potosí, México

^bUniversidade Federal do Rio de Janeiro, Rio De Janeiro, RJ, 21941-901, Brazil

* im.sandra.ayala.z@gmail.com

Resumen

El cambio climático ha generado la urgente necesidad de mejorar la cadena de frío para reducir las pérdidas de productos sensibles a los cambios de temperatura. Este estudio se enfoca en la optimización del diseño preliminar de una caja de almacenamiento térmico con el objetivo de maximizar el tiempo en que su interior se mantiene en el rango de temperaturas críticas de 2 a 8°C. La caja adopta una geometría cilíndrica con dimensiones exteriores de 37.0 cm de altura y 20.0 cm de radio, sometida a convección natural con condiciones ambientales de Guadalajara. Para el almacenamiento térmico, se emplearon dos materiales de cambio de fase (PCM): agua y Rubitherm® RT5HC. El método utilizado fue el gráfico, con los espesores de los PCM siendo los parámetros de diseño a optimizar y una capacidad de almacenamiento mínima de 15 L. Como resultado, se alcanzó un tiempo máximo de 98.53 h dentro del rango de temperaturas críticas, correspondiente a espesores de 2.5 cm para el agua y 3.5 cm para el RT5HC. Este estudio destaca la importancia de la optimización en el diseño de cajas de almacenamiento térmico y evidencia la efectividad de la combinación de PCM como una solución innovadora en este contexto.

Palabras clave: almacenamiento térmico, transporte, materiales de cambio de fase, optimización



1. Introducción

La eficiencia en el almacenamiento y control de la energía térmica es un aspecto crucial en una variedad de aplicaciones, desde la conservación de alimentos hasta la gestión de sistemas de climatización y calefacción. La utilización de Materiales de Cambio de Fase (PCM, por sus siglas en inglés) se ha convertido en una estrategia prometedora para el almacenamiento y liberación controlada de calor. Sin embargo, la selección adecuada de los espesores de los PCM es esencial para maximizar la eficiencia de estos sistemas [1, 2, 3]. En este estudio, se analiza la variación de los tiempos efectivos (tiempo en que el interior de la caja permanece dentro del rango de temperaturas deseado) en función de diferentes espesores de PCM, centrándose en la influencia del espesor del Rubitherm® RT5HC y su interacción con el espesor del hielo. Los resultados arrojan luz sobre la crítica importancia de los espesores de los PCM y ofrecen pautas para la optimización de sistemas de almacenamiento térmico. En este contexto, se presentan resultados que resaltan la relevancia de estos parámetros para el diseño eficiente de sistemas de almacenamiento térmico.

2. Planteamiento

La configuración utilizada en este estudio numérico de optimización consistió en una caja cilíndrica, inspirada en el diseño de Ref. [1], con aislamiento térmico diseñada con el propósito de mantener una temperatura interna entre 2 °C y 8 °C. Para lograr esta especificación, se emplearon dos PCM en conjunto con poliestireno como material aislante. El objetivo principal del trabajo fue optimizar los espesores de los PCM para mejorar la eficiencia térmica de la caja, maximizando el tiempo efectivo. Para lograrlo, se realizaron diversas simulaciones que involucraron variaciones en los espesores de los PCM. Estas simulaciones se detuvieron en caso de que la temperatura saliera del rango deseado en el centro de la caja. Los resultados se presentan gráficamente con el fin de identificar la combinación óptima que maximice el tiempo en el rango de temperaturas deseado y garantice un volumen interior superior a 15 L.

3. Metodología

La metodología para lograr el objetivo constó de los siguientes pasos:

- (1) Modelado y simulación térmica de la caja de transporte. Definiendo las condiciones de detención para calcular el tiempo efectivo.
- (2) Realización de simulaciones con diferentes combinaciones de espesores de los PCM y almacenamiento de los resultados en una base de datos.
- (3) Representación gráfica de los resultados, indicando el área factible donde el volumen interior de la caja es mayor a 15 L.
- (4) Análisis de la gráfica para determinar el punto óptimo.

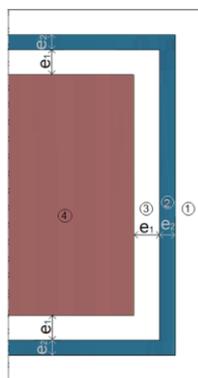


4. Simulaciones

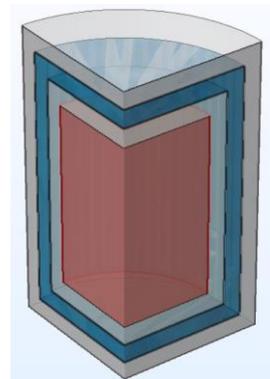
La obtención de las distribuciones de temperatura en la caja se llevó a cabo mediante el uso del software comercial de simulación COMSOL Multiphysics® en el módulo de transferencia de calor en sólidos, que utiliza el método de elementos finitos (FEM) para discretizar la ecuación de energía que describe el fenómeno físico. La herramienta fue verificada al comparar los resultados obtenidos con los reportados por [1] obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.92, confirmando la validez de la herramienta de simulación.

4.1 Geometría

La Figura 9 presenta la geometría de la caja, la cual tiene dimensiones exteriores de 0.2 m de radio y 0.37 m de altura, dividida en cuatro secciones: aislante, hielo, RT5HC y área útil. La primera sección está compuesta por una capa de poliestireno con un espesor de 2.5 cm, que actúa como material aislante y forma la estructura base de la caja. La segunda contiene agua como el primer PCM, su espesor es el parámetro de diseño e_2 . La tercera sección tiene la función de proteger el contenido de la caja de las bajas temperaturas del hielo, con una capa de RT5HC, su espesor es el parámetro de diseño e_1 . La cuarta sección corresponde al área en donde se pueden almacenar los bienes, para este trabajo se consideró como aire.



a)



b)

Figura 9 Geometría de la caja térmica a) corte, b) vista isométrica.

4.2 Modelo matemático

La ecuación de conservación de la energía se presenta en su forma simplificada en la Ecuación (1), tomando en cuenta las siguientes suposiciones:

- Se desestima la transferencia de calor por convección, considerando solo la transferencia de calor por conducción.
- Se supone que las propiedades de los materiales son isotrópicas.
- Las temperaturas iniciales en cada sección son uniformes.



- El fenómeno es axis-simétrico, considerando convección natural en todas las caras, basándose en las condiciones ambientales promedio de Guadalajara, obtenidas de la base de datos ASHRAE 2017.

Es esencial destacar que, debido al cambio de fase, las propiedades de los dos PCM varían según el estado de la materia en el que se encuentran. Además, los PCM absorben grandes cantidades de energía para hacer el cambio de estado. Estas consideraciones se representaron mediante las Ecuaciones (2) y (3).

$$\rho(T)c_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k(T) \nabla T) \quad (1)$$

$$prop_{PCM}(T) = \alpha(T)prop_l + (1 - \alpha(T))prop_s \quad (2)$$

$$c_{p_{PCM}}(T) = \alpha(T)c_{p_l} + (1 - \alpha(T))c_{p_s} + \Delta H \frac{d\alpha(T)}{dT} \quad (3)$$

Donde T es la temperatura, $prop$ representa las propiedades térmicas de los materiales (que pueden ser la densidad, ρ , o la conductividad térmica k), c_p la capacidad térmica específica y k la conductividad térmica, ΔH es la entalpía de los materiales, $prop_l$, $prop_s$ las propiedades térmicas en estado líquido y sólido, c_{p_l} y c_{p_s} la capacidad térmica en para los dos estados, α y $\frac{d\alpha}{dT}$ son la fracción de líquido en el cambio de fase y su derivada, que se representan por las Ecuaciones (4) y (5).

$$\alpha(T) = \frac{1}{1 + e^{-(T-T_{pc})}} \quad (4)$$

$$\frac{d\alpha(T)}{dT} = \frac{e^{-(T-T_{pc})}}{(1 + e^{-(T-T_{pc})})^2} \quad (5)$$

Siendo, T_{pc} la temperatura de cambio de fase.

En cuanto a las condiciones iniciales, se estableció que la temperatura del aislante en la primera sección sería igual a la temperatura ambiente. La temperatura inicial del agua en la sección 2 se fijó en -5 °C, mientras en las secciones 3 y 4, correspondientes al RT5HC y al interior de la caja, se estableció en 7 °C.

4.3 Materiales

La Tabla 1 presenta las propiedades de los materiales utilizados. Cabe destacar que las simulaciones se hicieron considerando la caja llenada con aire por lo que el interior de la caja se consideró como aire, cuyas propiedades se tomaron de la biblioteca de COMSOL Multiphysics®.



Tabla 5 Propiedades Físicas de los materiales considerados en el modelo [2, 4].

Propiedad	Valor	Unidades	Propiedad	Valor	Unidades	Propiedad	Valor	Unidades
ΔH_{agua}	333	[kJ/kg]	$c_{p,l,agua}$	4.179	[kJ/(kg K)]	$\rho_{s,RT5HC}$	770	[kg/m ³]
$T_{pc,agua}$	0	[°C]	$\rho_{aislante}$	35	[kg/m ³]	$\rho_{l,RT5HC}$	880	[kg/m ³]
$\rho_{s,agua}$	918	[kg/m ³]	$k_{aislante}$	0.046	[W/(m K)]	$k_{s,RT5HC}$	0.200	[W/(m K)]
$\rho_{l,agua}$	997	[kg/m ³]	$c_{p,aislante}$	1.210	[kJ/(kg K)]	$k_{l,RT5HC}$	0.200	[W/(m K)]
$k_{s,agua}$	2.310	[W/(m K)]	ΔH_{RT5HC}	250	[kJ/kg]	$c_{p,s,RT5HC}$	2.000	[kJ/(kg K)]
$k_{l,agua}$	0.564	[W/(m K)]	$T_{pc,RT5HC}$	6.000	[°C]	$c_{p,s,RT5HC}$	2.000	[kJ/(kg K)]
$c_{p,s,agua}$	2.052	[kJ/(kg K)]						

4.4 Método gráfico

El método de gráfico para la optimización implica representar gráficamente la variación del tiempo efectivo en relación con e_1 y e_2 . Estos parámetros variaron en un rango de 1.5 cm a 4.5 cm con incrementos de 0.5 cm, generando un total de 49 combinaciones diferentes. Los tiempos efectivos correspondientes a estas combinaciones se calcularon y se representaron en un gráfico de contorno. En este gráfico, se definió el área factible, lo que permitió encontrar el punto óptimo.

5. Análisis y resultados

La Figura 10 representa la variación del tiempo efectivo en función de diferentes combinaciones de los espesores de los PCM en el sistema. En la Figura 10b), se observan puntos de inflexión que se originan a partir de un valor de e_2 relacionado con otro valor de e_1 . Estos puntos de inflexión se explican por el hecho de que, antes de alcanzarlos, el tiempo efectivo se ve interrumpido debido a que la temperatura promedio de la caja cae por debajo de los 2 °C. Esto sugiere que el RT5HC no es suficiente para mantener la temperatura adecuada en el sistema antes de llegar a dichos valores de e_1 . No obstante, a partir de estos puntos de inflexión, el tiempo aumenta significativamente, lo que indica que el RT5HC desempeñar un mejor papel en la conservación de la temperatura dentro de los límites deseados. Cabe resaltar que el tiempo efectivo presenta una desviación típica de 34.57 h, y la diferencia porcentual entre los resultados antes y después de estos puntos de inflexión puede alcanzar hasta un 459%. Esto subraya la influencia de los parámetros de diseño en el rendimiento de las cajas.

Los resultados indican que los espesores óptimos para el diseño de la caja térmica propuesta son de 2.5 cm de espesor para el agua y 3.5 cm de espesor para el RT5HC, lo que resulta en un tiempo efectivo de 98.53 h. Estos resultados subrayan la importancia crítica de seleccionar los espesores adecuados de los PCM para garantizar el cumplimiento de los requisitos de temperatura y el funcionamiento eficiente del sistema.

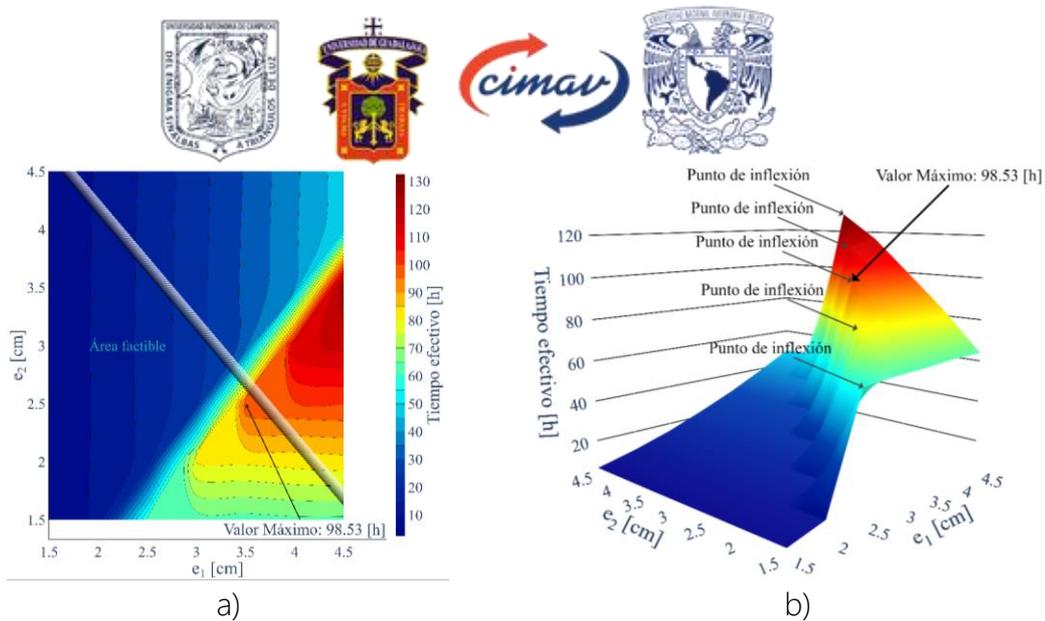


Figura 10 Gráficas de resultados de la variación del tiempo efectivo con respecto los espesores de los PCM representadas por a) contorno y b) superficie.

6. Conclusiones

Los resultados destacan la influencia de los espesores de los PCM en el rendimiento del sistema de almacenamiento térmico, especialmente resaltando la importancia del espesor del RT5HC como material clave para mantener las condiciones de temperatura requeridas. Se observó una desviación típica de 34.57 h y diferencias porcentuales de hasta un 459% en el tiempo efectivo debido a variaciones en su espesor. Además, se enfatiza la necesidad de aumentar proporcionalmente el espesor del RT5HC con el del hielo para aprovechar al máximo la capacidad de absorción de calor del agua durante su cambio de fase. También, se determina que los espesores óptimos para el diseño de la caja térmica son 2.5 cm para el agua y 3.5 cm para el RT5HC, logrando un tiempo efectivo de 98.53 h, lo que resalta la crítica importancia de la selección adecuada de los PCM y sus espesores en el diseño de las cajas.

Referencias

- [1] A. K. Ray, S. Singh, D. Rakshit y Udayraj, «Comparative study of cooling performance for portable cold storage box using phase change medium,» *Thermal Science and Engineering Progress*, p. 101146, 2022.
- [2] B. Nie, J. Chen, Z. Du, Y. Li, T. Zhang, L. Cong, B. Zou y Y. Ding, «Thermal performance enhancement of a phase change material (PCM) based portable box for cold chain applications,» *Journal of Energy Storage*, vol. 40, p. 102707, 2021.
- [3] J. Du, B. Nie, Y. Zhang, Z. Du, I. Wang y Y. Ding, «Cooling performance of a thermal energy storage-based portable box for cold chain applications,» *Journal of Energy Storage*, vol. 28, p. 101238, 2020.
- [4] Rubitherm Technologies GmbH, «Data Sheet RT5HC,» 21 03 2022. [En línea]. Available: https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_-RT5HC_EN_21032022.PDF. [Último acceso: 1 10 2023].







14 Deshidratador solar de productos gastronómicos

Juan L. Canul Chac^a, Diego M. Medina Carril^a, María J. Espinosa Trujillo^{a*}, Manuel

I. Flota Bañuelos^b

^a *División Industrial, Universidad Tecnológica Metropolitana, Mérida, Yucatán, México.*

^b *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.*

María Jesús Espinosa Trujillo: maria.espinosa@utmetropolitana.edu.mx.

Resumen

Se presenta el diseño de un deshidratador solar indirecto para el secado de productos o alimentos gastronómicos. El deshidratador consta de cuatro partes: el colector solar, la cámara de secado, el sistema de ventiladores y el sistema de monitoreo. El deshidratador fue construido con materiales de fácil acceso y bajo costo, con la finalidad de crear un proyecto sustentable y económico. Se evaluó la eficiencia de la cámara de secado, arrojando que con un flujo de aire continuo de 2.7m/s se obtuvo una eficiencia promedio de la cámara de secado del 44%.

Palabras clave: Deshidratador, flujo forzado, eficiencia, sustentable.

Introducción

La deshidratación de alimentos ha sido durante años uno de los procesos que ha logrado conservar, disminuir el peso y reducir el tamaño del alimento, haciendo que el producto pueda ser mejor resguardado para alargar su tiempo de vida. Con el paso del tiempo el proceso de deshidratación de alimentos fue cambiando con el fin de mejorar tiempo, textura y eficiencia de secado en estos alimentos. Entre estos cambios de los deshidratadores solares se pueden apreciar sus diferentes sistemas de captación, que son los sistemas activos, pasivos y mixtos. Cada uno de estos sistemas tiene una forma diferente de operación, pero se basan siempre en el aprovechamiento de la energía solar. Actualmente se cuenta con diferentes sistemas o procesos de deshidratación de alimentos, tales como el deshidratado por congelación, por rodillos de altas temperaturas, congelación rápida, etc. Sin embargo, por el alto costo que representa usar este tipo de procesos en algunos pueblos o lugares lejanos a la ciudad se opta por seguir utilizando la energía solar como un medio para poder deshidratar productos, ya que elaborar un sistema de deshidratado resulta ser menos costoso y



más beneficioso para el ambiente [1]. Este tipo de colector ha sido estudiado anteriormente por varios investigadores debido a las ventajas que presenta [2,3], sin embargo la realización de este trabajo es con el objetivo de apoyar a una comunidad a conservar por más tiempo la hoja de chaya (*Cnidosculus aconitifolius*) que utilizan como materia prima, ya que es una planta que ha sido consumida en la región desde hace varias décadas, se le reconoce por su alta resistencia a los extremos climáticos y por el valor nutricional de sus hojas y se utiliza en muchos platillos yucatecos.

Metodología

Se realizó una cámara de secado para aproximadamente 180 gramos de hoja de chaya. Tomando en cuenta las medidas promedio de la muestra de 180 gramos de la hoja de chaya, que fueron de entre 20 cm x 15 cm y 15 cm x 9 cm, se hizo un área de secado de .16 m² y un alto de aproximadamente 50 cm. Solo 38 cm a lo alto son ocupados para secar, ya que 12 cm sirven para la entrada del colector. Se posicionaron 5 bandejas en la cámara de secado con una distancia de 6 cm, para una buena regulación del aire caliente [4]. En la figura 1, se pueden observar las medidas de la cámara de secado.

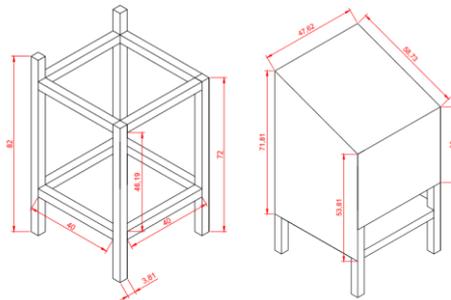


Figura 1. Medidas de la cámara de secado. Fuente: Propia

De igual forma se detallan las medidas y cortes de la estructura externa en la figura 2, ya que hay algunos cortes específicos.

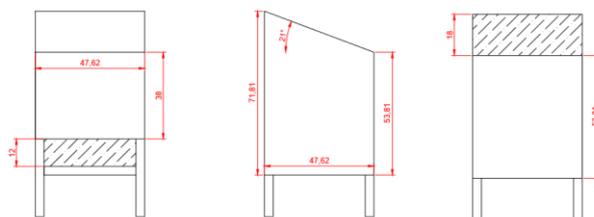


Figura 2. Cortes de la estructura externa. Fuente: Propia

En la figura 3. Se detallan las medidas de las bandejas y del soporte que fueron puestos dentro de la cámara de secado.

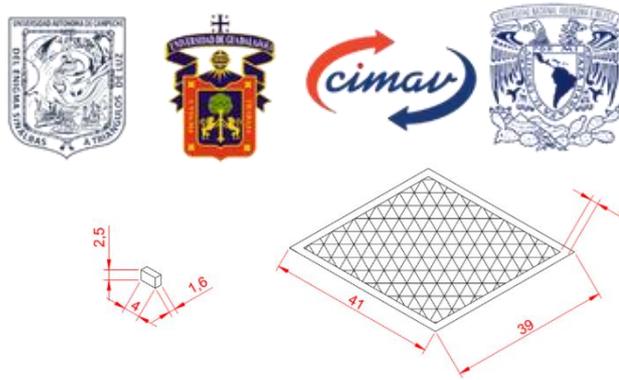


Figura 3. Medidas de las bandejas y el soporte. Fuente: Propia

Cálculo de agua a evaporar

Este cálculo hace referencia a la cantidad de agua en Kg que debe de ser extraído del producto [5]. La cantidad de agua a extraer está dada por la ecuación 1:

$$M_w = \frac{W_w(H_i - H_f)}{(1 - H_f)} \quad (1)$$

Donde,

M_w : es la masa de agua a extraer (Kg).

Por lo tanto, se realizó el cálculo para 180 g de hoja de chaya, con una humedad inicial del 80% y se pretende reducir su humedad hasta un 16%

$$M_w = \frac{(0.180 \text{ Kg})(.8 - .16)}{(1 - .16)}$$

$$M_w = 0.137 \text{ Kg}_{\text{H}_2\text{O}}$$

El resultado fue de 0.137 Kg de masa de agua a extraer en una masa de 0.180 Kg de producto de chaya.

Cálculo de la energía necesaria

Ya calculada el agua a extraer, se procede a realizar el cálculo para la energía necesaria para evaporar la masa de agua en el producto, utilizando la ecuación 2. Se tiene que tomar en cuenta ciertas variables para la ecuación, que son la temperatura de entrada de aire y el calor latente de vaporización del agua.

$$E = M_w L_w \quad (2)$$

Donde,

E es la Energía necesaria para evaporar la masa de agua (KJ)

La temperatura de la entrada de aire es de entre 55° a 60° C, se tomará el valor de 60°.

El calor latente de vaporización depende exclusivamente de la temperatura y es del orden de los 2450 kJ / kg a 20°C [6]. Su valor en función de la temperatura se puede determinar mediante la ecuación 3:



$$L_w = \frac{R}{M_{H_2O}} (6547.1 - 4.23(T_a + 273.16)) \quad (3)$$

Donde,

R es la constante de los gases ideales (8314 J/Kmol.K), M_{H_2O} es el peso molecular del agua (18.01 Kg/Kmol), T_a es la temperatura del ambiente (°C).

Por lo tanto, se sustituyen los valores:

$$L_w = \frac{8.314 \frac{KJ}{Kmol \cdot K}}{18.01 \text{ Kg/Kmol}} (6547.1 - 4.23(60^\circ C + 273.16^\circ K))$$

$$L_w = 2371.79 \text{ KJ/Kg}$$

El valor es sustituido en la ecuación de energía, quedando de la siguiente forma:

$$E = (0.137 \text{ kg}) \left(2371.79 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$E = 324.93 \text{ KJ}$$

Se requiere una energía de 322.94 KJ para poder evaporar 0.137 Kg de masa de agua en las hojas de chaya.

Cálculo de los días de sol necesario

Se realizó una aproximación de los días que se necesitan para que se lleve a cabo el correcto secado de las hojas de chaya. Se tomaron en consideración dos factores: La irradiación solar promedio en la Ciudad de Mérida que son de 4.7 KWh/día [7], el área del colector solar (Acol) y un aproximado de la eficiencia del secado que se consideró en un 40%, que es el valor promedio de la eficiencia en las cámaras de secado.

Se realiza la equivalencia de la irradiación solar de KW a KJ, que es una multiplicación de la cantidad por 3600, que es la cantidad de Joule que equivale un W como se muestra en la ecuación 4.

$$\left(4.7 \frac{KWh}{\text{día}} \right) (3600) = 16920 \frac{KJ}{\text{día}} \quad (4)$$

Previo se toma el área del colector solar y se multiplica por la energía necesaria, como se muestra en la ecuación 5. Este valor equivale a la energía disponible durante todo el proceso de secado.

$$(0.24 \text{ m}^2)(324.93 \text{ KJ}) = 77.98 \text{ KJ} \cdot \text{m}^2 \quad (5)$$

Se multiplica este valor por la eficiencia de secado y se obtiene la ecuación 6:

$$(77.98 \text{ KJ} \cdot \text{m}^2)(0.4) = 31.19 \text{ KJ} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{día}} \quad (6)$$

Por último, se divide la energía disponible entre la energía por día como se muestra en la ecuación 7.

$$\frac{77.98 \text{ KJ} \cdot \text{m}^2}{31.19 \frac{\text{KJ} \cdot \text{m}^2}{\text{día}}} = 2.5 \text{ días} \quad (7)$$



Obteniéndose que se requiere de un aproximado de dos días y medio para que el proceso de secado con las características establecidas.

Construcción de la cámara de secado

Estructura interna

Con el uso de maderas de 1 ½ in de grosor y clavos de 2 in, se procedió forma la estructura interna donde las bandejas tienen un espacio entre ellas de 7cm para que cada una tenga una buena circulación de aire.

Estructura externa

Al término de la construcción de la estructura interna, se añadió a la cámara de secado la estructura externa de triplay de 6 mm. Para las bandejas se utilizaron retazos de triplay de 0.6 cm de la estructura externa, las medidas utilizadas fueron de 41 cm y 39 cm ambos con un ancho de 2 cm como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Bandeja para la cámara. Fuente: Propia

Acondicionamiento de la cámara de secado

Debido a las condiciones climatológicas del lugar y para mejorar el aislamiento térmico se optó por acondicionar la cámara de secado con sellador y barniz para madera, con el fin de que la cámara de secado tenga un aspecto más estético y le brinde una cierta protección a la madera. En el interior de la cámara se colocó unicel en las paredes para darle un mejor aislamiento térmico y se puedan evitar las fugas de calor por las paredes.

Ensamble de colector solar y cámara de secado

Con el fin de tener una entrada de aire que tenga una velocidad constante y mejorar el tiempo de secado, se añadieron dos ventiladores axiales a la entrada del colector alimentado por dos celdas fotovoltaicas de 6 W. Estos ventiladores suministran aire a una velocidad de 2.7 m/s. el autor Méndez postula que "para obtener una mejor circulación del aire en los deshidratadores por convección forzada, deben ser de un rango de 0.55 a 3.81 m/s" [8]. En la figura 8 se puede apreciar el deshidratador solar indirecto por convección forzada.



Figura 8. Deshidratador solar indirecto por convección forzada. Fuente: Propia

Sistema de monitoreo

Para poder realizar la recolección de datos de la cámara de secado (temperatura), se utilizaron termopares a la entrada de la cámara y a la salida de aire de la cámara, y la medición de la humedad en los mismos puntos que la temperatura. De igual forma se utilizó el programa Arduino IDE para la recolección de datos y posteriormente se guardaron los datos en una tarjeta microSD (memoria portátil).

Prueba de secado

Antes de comenzar con la prueba se realizó un pretratamiento a la hoja de chaya. Este pretratamiento se llama escaldado, que consiste en calentar agua a una temperatura de alrededor de 90 °C, al llegar a esta temperatura se sumergen las hojas por un tiempo de entre 30 segundos a 1 minuto aproximadamente [9]. Para el secado de las hojas, estas se acomodaron en las bandejas de secado procurando no tener traslapadas las hojas. Antes de ingresarlas se pesan y al termino del día se vuelven a pesar para verificar si se logró el secado o requerirá de mayor tiempo.

Resultados

Transcurrido cada día de sol para el deshidratado, se procedía a retirar el producto de las bandejas, luego se pesaba para saber el peso final del producto y se analizaba físicamente, también se recababa las mediciones de los sensores de temperatura y humedad de las variables térmicas de la cámara de secado. Las características físicas del producto seco fueron: peso final de 0.039 kg, textura poco quebradiza, color verde oscuro y presento una disminución en su tamaño real, tiempo estimado de secado un día completo de 10 horas luz.

Se puede notar que el peso final del producto no coincide con el peso final calculado anteriormente, sin embargo, se podría considerar el producto como deshidratado. En la figura 9 se puede observar la hoja de chaya en el antes y después del proceso de deshidratado.



Figura 9. Antes y después del proceso de deshidratado. Fuente: Propia

En la figura 10 se puede observar la gráfica de comportamiento donde al incremento de temperatura se da un decremento de la humedad antes de entrada a la cámara de secado, aportándole la capacidad para poder ganar humedad del producto en la cámara de secado.

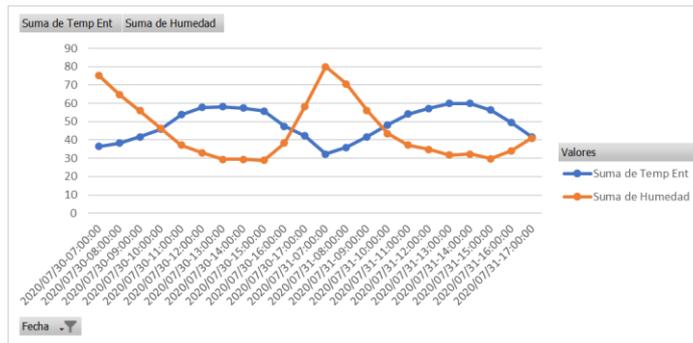


Figura 10. Temperatura y humedad de salida

En la figura 11 se puede observar la gráfica de comportamiento de la temperatura y humedad de salida de la cámara de secado.

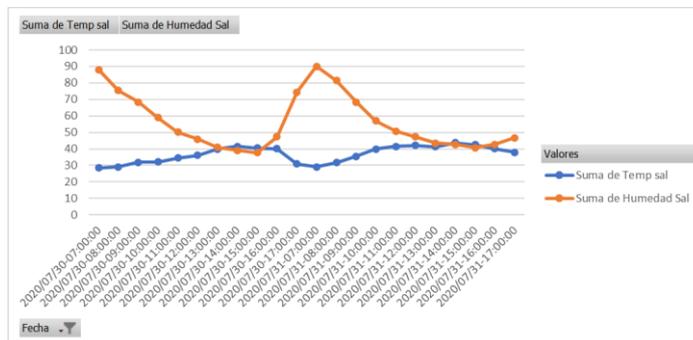


Figura 11. Temperatura y humedad de entrada

Discusión

Eficiencia de la cámara de secado

La eficiencia de la cámara de secado se obtiene de la relación de la energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada en el proceso, por lo tanto, se expresa con la ecuación 8:

$$n = \frac{(W_w - W_f)L_w}{(E_u)(A_s)(D)} \quad (8)$$



n: Eficiencia de la cámara de secado, Ww: Peso inicial del producto (0.180 Kg), Wf: Peso final del producto (0.039 Kg), Lw: Calor latente de vaporización ($2395.53 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$), Eu: Energía dada por el colector (4176 KJ/m²), As: Área de secado (0.09 m²), D: Días de secado (2).

Se sustituyen los valores en la ecuación:

$$n = \frac{337.77}{751.68} \times 100$$
$$n = 44.9 \%$$

La eficiencia de la cámara de secado fue de 44.9%, y es capaz de secar 180 gramos de hoja de chaya.

Conclusión

Se han obtenido datos muy favorables del deshidratador al incorporar un sistema de circulación forzada alimentada por paneles fotovoltaicos lo que lo sigue haciendo sustentable en su desempeño y lo que nos demuestra que, al tener presente un flujo de aire constante, esta mejora la remoción de humedad del producto. La convección forzada del deshidratador ayuda a acelerar el proceso de deshidratado, haciendo en menor tiempo el secado.

Recomendaciones para futuros proyectos:

- El unicel como aislante térmico es muy bueno, pero se pueden utilizar el foamular o fibra de vidrio.
- La velocidad de los ventiladores fueron parte esencial para el tiempo de secado, por lo que se podría utilizar un ventilador centrífugo.
- Incorporar un sistema de medición de pesado del producto sin retirarlo de la cámara de secado hasta no ver registro del pesado marcado para su secado.

Referencias

- [1] Landa, L. (2019). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar indirecto para comunidades rurales de Tarma. Perú.
- [2] Mustayen, A.G.M.B; Mekhilef, S.; Saidur R. Performance study of different solar dryers: A review. Renewable and sustainable Energy Reviews 34 (2014) 463-470.
- [3] Yagnesh B. Chauhan & Pravin P. Rathod (2018): A Comprehensive Review on Solar Dryer, International Journal of Ambient Energy, DOI: 10.1080/01430750.2018.1456960
- [4] Valencia, M. (2014). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador solar para el proceso de secado de tomate. Xalapa, Veracruz, México.
- [5] García, L. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar para frutos tropicales. No. 2, 12-14.



[6] Roa, G. (2011) Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.

[7] Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (2019). Recuperado el 01 de Julio del 2020. Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (unam.mx)

[8] Méndez, R. (2018). Análisis de propiedades físicas en el deshidratador de Guayaba por medio de energía solar utilizando convección natural y forzada. Zacatecas.

[9] Anaya, J. (2018). Determinación de procedimientos para la eliminación de glucósidos cianogénicos en la hoja de chaya (cnidosculus aconitifolius) de las variedades mansa y picuda para la formulación de chaya deshidratada y en polvo como una alternativa de materia prima en la producción de alimentos. El salvador.



15 Producción de agua potable y aire seco por condensación de humedad en el aire atmosférico de zonas tropicales

Jorge A. Escobedo-Bretado^{a*}, Dagoberto Rodríguez-Ortiz^a, Erick C. López-Vidaña^b, Mario Nájera-Trejo^a, Ignacio R. Martín-Domínguez^a

^a*Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV #110, Ejido, Arroyo Seco, CP 34147, Durango, Dgo., México.*

^b*Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Demarcación Territorial Benito Juárez, C.P. 03940, Ciudad de México*

*autor de correspondencia: jorge.escobedo@cimav.edu.mx

Resumen

El mango es un producto de alto valor económico en los mercados de exportación que se produce en regiones tropicales con condiciones altas de humedad relativa y temperatura; entre 30 y 40 °C, y 40 y 90 % respectivamente. En el estado de Sinaloa la cosecha de mango se desarrolla entre febrero y septiembre en sus diferentes variedades. Durante el ciclo de producción; brotamiento, floración, desarrollo, maduración, cosecha y poscosecha, el agua para riego agrícola y el aire seco para el proceso de deshidratado de mango, son dos recursos necesarios. Sin embargo, por una parte, en años recientes una crisis hídrica severa y, por otra parte, el alto consumo energético y consecuentemente económico para el deshidratado de mango, han llevado a buscar alternativas locales, económicas y energéticamente amigables con el ambiente para obtener los recursos de agua y aire seco. Una forma de obtener agua líquida y aire seco es por medio de la condensación del agua que contiene el aire ambiente. En este trabajo se analiza el potencial de generación de agua líquida por condensación y su consecuente generación de aire seco. Los resultados muestran que la producción de agua podría ser de 1,470 kg por día



cuando se hace pasar un flujo másico de 1 kg/s a través de un condensador a 5°C durante 10 horas de trabajo y las condiciones del aire ambiente son de 41°C de temperatura y 90% de humedad relativa, consumiendo una potencia de enfriamiento de 122.4 kJ/s. Por otra parte, se puede producir aire con 4% de humedad relativa @60°C aplicando una potencia térmica de 55.82 kJ/s.

Palabras clave: Agua líquida, aire seco, psicrometría, riego agrícola, mango.

Nomenclatura

\dot{m}	Flujo másico [kg/s]
h	Entalpía específica [kJ/kg]
\dot{Q}	Flujo de calor (kJ/s)
T	Temperatura [°C]
T_{bs}	Temperatura de bulbo seco [°C]
T_{bh}	Temperatura de bulbo húmedo [°C]
t	Tiempo [s]
P	Presión [Pa o kPa]
i	Entrada
o	Salida

Subíndices

a	Aire seco
w	Agua
1	Etapas 1
2	Etapas 2
3	Etapas 3
4	Etapas 4
sat	Saturación
Letras griegas	
ω	Humedad absoluta [kgv/kga]
ϕ	Humedad Relativa [%]

Introducción

Sinaloa es el mayor productor de mango a nivel nacional produciendo las variedades Ataulfo, Haden, Tommy, Kent y Keitt principalmente [1]. Para el desarrollo de la mayoría de las etapas de la cadena productiva de este cultivo, el riego agrícola y el secado del producto son altamente necesarios [2]. Sin embargo, un fenómeno de sequía severa que se ha venido presentando en los últimos años ha provocado un estrés hídrico en los árboles frutales de la zona productiva del noroeste del país [2][3] obligando a productores a tener que recurrir a la extracción y transporte de agua por varios kilómetros aumentando los costos de producción. Por otra parte, el secado de mango es deseable debido al alto valor económico de este producto de exportación, además de que el secado le permite tener un menor costo por concepto de transporte y una prolongada vida de anaquel, evitando que la oferta supere a la demanda y obligando a los productores a vender muy por debajo de los costos de producción o, en el peor de los casos, perder la cosecha por la profunda baja rentabilidad haciendo atractivo dejar que el producto se eche a perder en el mismo árbol [2]. Sin embargo, los procesos de secado actuales son sencillos tecnológicamente y por lo tanto, tienen un bajo control de calidad y por otra parte, los procesos medianamente tecnificados son energéticamente ineficientes, debido a que el secado se realiza en cámaras de secado cuyo fluido de trabajo es aire atmosférico con una humedad relativa (HR), relativamente alta, de entre el 40% y 90% produciendo solo un pequeño gradiente



de humedad entre el aire y el producto teniendo como resultado un tiempo prolongado de secado o un producto húmedo y caliente. Además de que su principal fuente de energía es el gas LP, un combustible caro, contaminante y con un complejo sistema de transporte y almacenamiento. Por otra parte, el estado de Sinaloa goza de abundante energía solar y aire ambiente con una HR de hasta el 90 % con temperaturas de hasta 41°C. En el presente trabajo se analizan estas condiciones climáticas para proponer soluciones al desabasto de agua para riego agrícola, por una parte, y por otra, para generar aire relativamente seco que puede usarse en cámaras de secado, creando un gradiente de humedad alto entre el fluido de trabajo, aire, y el producto que se desea secar. Se propone un proceso de condensación del agua presente en el aire atmosférico a través de su paso por cuatro etapas descritas en la carta psicrométrica de la Figura 1. En la etapa 1, Idealmente se toma aire con las condiciones de T y HR como las que se encuentran dentro del área púrpura (Figura 1 izq.) delimitada por una línea discontinua. En la etapa 2, considerando un condensador, el aire experimenta una disminución de temperatura hasta llegar a la saturación siguiendo una trayectoria horizontal a ω =constante, dando inicio a un proceso de condensación. En la etapa 3, a T=5°C propuesta, termina el proceso de condensación, se le ha extraído al aire una fracción de agua contenida quedando como un aire saturado. En la etapa 4, con la ayuda de un calentador, el aire es llevado, de forma horizontal sobre la línea de ω =constante, a tener una propiedad de alta temperatura (60°C) y una HR, de alrededor del 4%, que son las condiciones del aire ideales para secado de alimentos. Se estudiará el comportamiento en estado estable de la producción de agua condensada, en kg/día, como: $\dot{m}_w = f(T_a, \dot{m}_a, HR_a)$ cuando se realiza el proceso descrito anteriormente. Un ejemplo de ese proceso se muestra en dos trayectorias mostradas en la gráfica derecha de la Figura 1.

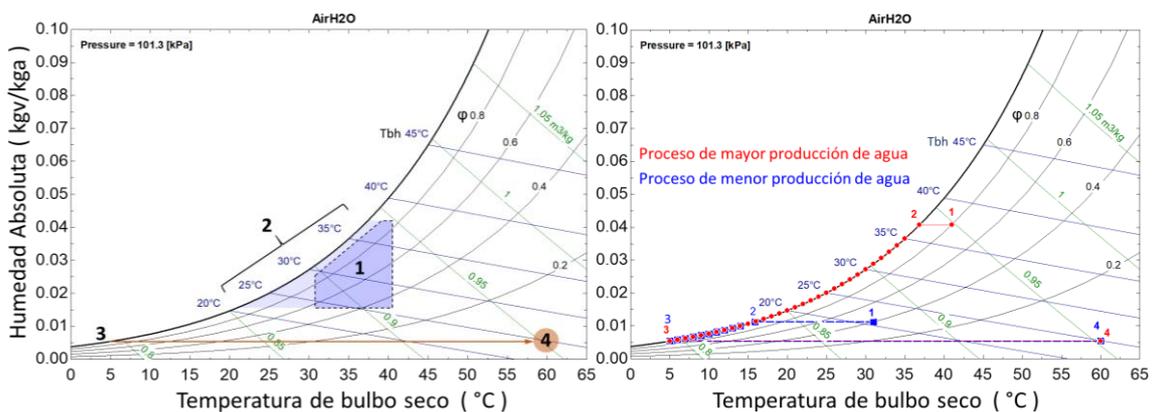


Figura 1. Psicrometría del aire. Proceso propuesto (izq.). Ejemplo de procesos (der.).

Los resultados pueden ayudar al estudio detallado de los parámetros de diseño de:
a) Un sistema de separación de agua del aire ambiente por condensación, b) Un sistema de riego agrícola y c) Un sistema de secado de mango.



El objetivo es encontrar el potencial teórico de generación de agua líquida y aire seco por la condensación de agua en el aire ambiente de zonas tropicales.

Metodología

Teniendo como función de respuesta la producción del agua condensada por día y desarrollando el análisis del sistema en estado estable, el estudio comprende el cálculo de las variables y constantes que caracterizan a la mezcla aire/agua como son la temperatura y la humedad relativa a una presión 1 atmósfera o 101,325 Pa. Además, como tercera variable de estudio, se ha tomado el flujo másico de aire.

Variable	Unidades	Valor	No. de cambios
Temperatura	°C	31, 32, 33,..., 41	11
Humedad Relativa	%	40, 50, 60, 70, 80, 90	6
Flujo másico	kg/s	0.1, 0.2, 0.3,..., 1	10

La delimitación de valores de temperatura y humedad relativa se da en función de las condiciones ambientales típicas de trabajo en campo. Por otra parte, el flujo de aire es una variable independiente de diseño preliminar (ver tabla anterior). Derivado de los 660 escenarios, se obtendrá un campo tridimensional de resultados para la producción de agua condensada por día cuando la temperatura de condensación es de 5°C. Para el balance de materia y energía, y el cálculo de las propiedades termodinámicas, se desarrolla un análisis del agua y el aire en el condensador, entre las etapas 1 y 3, así como el cálculo de las constantes como funciones de estado en cada etapa [4].

Balance de masa del aire seco:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a3} = \dot{m}_a \quad \text{Ecuación (1)}$$

Balance de masa del agua:

$$\dot{m}_{a1}\omega_1 = \dot{m}_{a3}\omega_3 = \dot{m}_w \rightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_{a1}(\omega_1 - \omega_3) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Balance de energía:

$$\sum_i \dot{m}h = \dot{Q}_o + \sum_o \dot{m}h \rightarrow \dot{Q}_o = \dot{m}(h_1 - h_3) - \dot{m}_w h_w \quad \text{Ecuación (3)}$$

Las propiedades termodinámicas se calculan con base en el postulado de estado a una presión de 101.3 kPa con la funcionalidad siguiente: $T_{\text{sat}} = f(\omega_{\text{sat}}, \varphi_{\text{sat}}, P)$, $h = f(T, \varphi, P)$, $h_w = f(T, P)$, $\omega = f(T, \varphi, P)$, $\varphi = f(T, \omega, P)$. Finalmente, se genera un



algoritmo en el software Engineering Equation Solver (EES)[5] como herramienta de cálculo. Se desarrolla la solicitud de tareas que debe hacer el motor de cálculo para procesar de cada propiedad en función del estado en el que se encuentra la mezcla de aire y agua. Se genera una interfaz conceptual (Figura 2) para mostrar las variables (editables), las constantes y las propiedades calculadas. Se observan las etapas de entrada del aire al sistema (1), el hipotético inicio de la condensación (2), el fin de la condensación (3) y el fin del calentamiento de aire (4). Se hace un análisis paramétrico.

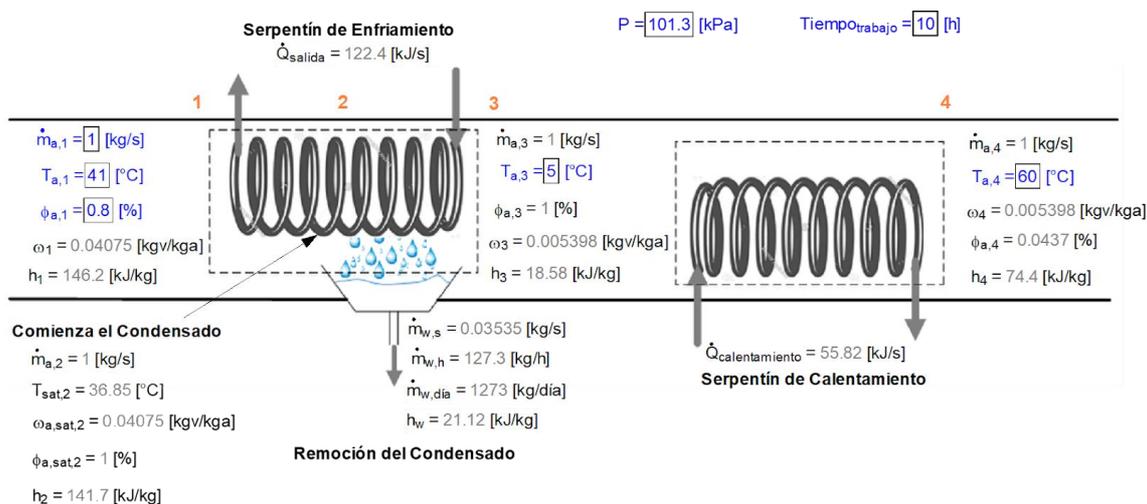


Figura 2. Interfaz visual del cálculo de propiedades termodinámicas

Resultados

De forma general, en la Figura 3, se muestra que la menor producción de agua condensada (21.04 kg/día) se presenta cuando se tiene la menor temperatura ambiente (31°C), la menor humedad relativa (40%) y el menor flujo másico de aire (0.1 kg/s). Por otra parte, la mayor producción de agua condensada (1,470 kg/día) se presenta cuando se tiene la mayor temperatura ambiente (41°C), la mayor humedad relativa (90%) y el mayor flujo másico de aire (1 kg/s).

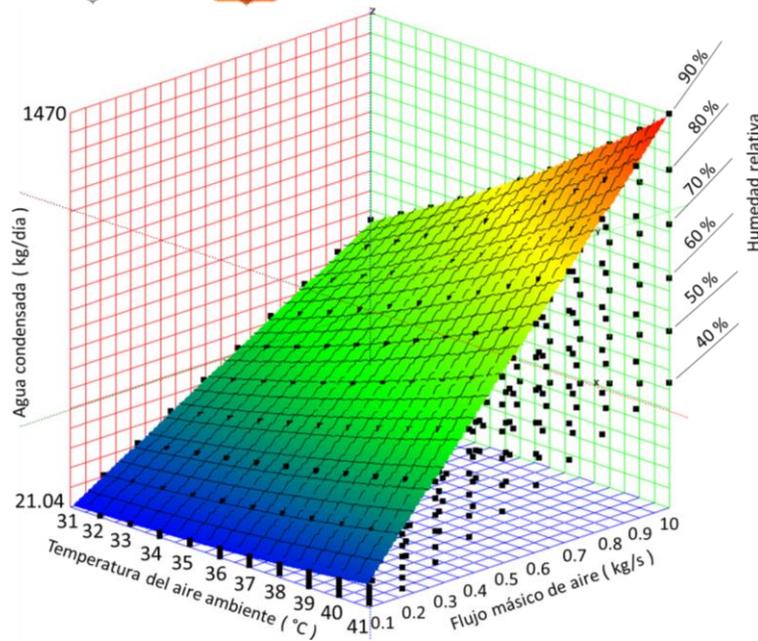


Figura 3. Producción de agua condensada $\dot{m}_w = f(T_a, \dot{m}_a, HR_a)$

La producción de aire seco es igual al valor de la variable de flujo másico, considerada en una de las variables del presente trabajo.

La potencia para la remoción del calor en el condensador es de 122.4 kJ/s cuando se tienen condiciones de T , HR y \dot{m}_a , de 41 °C, 90%, 1 kg/s, respectivamente. Por otra parte, para calentar el aire residual, con las condiciones de saturación a 5°C, y llevarlo a 60°C, que es la temperatura que normalmente se utiliza en las cámaras de secado, se necesita una potencia térmica de 55.8 kJ/s.

Conclusiones

Se encontró el potencial teórico de generación de agua líquida y aire seco por la condensación de agua en el aire ambiente de zonas tropicales. Se obtuvo un campo de resultados basado en las condiciones climáticas en las que podría estar trabajando un sistema real instalado. Finalmente se concluye que el uso de softwares especializados en la solución simultánea de múltiples ecuaciones, y con la capacidad de proveer propiedades termodinámicas de diferentes fluidos, representa una herramienta invaluable para el diseño de sistemas térmicos para el campo productivo de comunidades donde se crea la sinergia basada en: cultivos propensos a adquirir valor agregado, recursos naturales y comuneros, como lo es la región productiva del noroeste de México.

Bibliografía

- [1] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México. (2023). <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico>



- [2] Fundación produce Sinaloa A. C. (2023). Agrobiotecnología. <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/component/phocadownload/category/21-mango>
- [3] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Servicio Meteorológico Nacional. Monitor de sequía en México <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- [4] Yunus, A. Cengel., & Michael, A. Boles. (2012). Termodinámica. McGraw-Hill Interamericana.
- [5] Klein, S.A. (2018). Engineering Equation Solver (EES) V10.412, F-Chart Software, Madison, USA. <http://www.fchart.com>





16 Construcción y caracterización de un deshidratador Solar de alimentos en Tonalá, Jalisco, México

Alencastro Rodríguez Guillermo^a, Flores Panduro Oscar Isaac^a, García Olivarez Juan Pablo^a.

^a *Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara. Tonalá, Jalisco, México.*

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal construir y caracterizar un deshidratador solar de alimentos de tipo directo, con el propósito de promover la conservación de alimentos de manera sostenible y la mejora de la seguridad alimentaria en entornos domésticos.

A través de la captura y concentración de la radiación solar directa, el dispositivo transforma la energía solar en calor, creando un ambiente de flujo natural de baja humedad y temperatura adecuada para el proceso de deshidratación de alimentos. El deshidratador solar busca contribuir a la conservación de los productos alimenticios de manera económica y ecológica, sino también promover una nutrición más saludable al retener los nutrientes y sabores naturales de los alimentos, en específico calabaza.

Palabras clave: Deshidratador solar directo, conservación, seguridad alimentaria, alimentos.

Deshidratador solar

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar el aire y así retirar el agua de los tejidos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas entre otros. La energía proveniente del sol llega como radiación, las paredes del colector se calientan por conducción, el aire fresco que entra se calienta y circula hacia el área de secado por un proceso de convección. El agua contenida en los productos se evapora y sale por la



parte superior del área de secado. Finalmente, el aire cargado de humedad sale por el área de evacuación y se disipa en el ambiente. El proceso constante de convección conlleva al secado de los frutos en lapsos de tiempo que dependen de las condiciones climáticas del día y el sitio donde se encuentre funcionando el deshidratador.

Objetivo

Caracterizar el comportamiento de un deshidratador solar directo con respecto al recurso solar disponible.

Específicos

- Caracterizar temperatura de cámara y ambiental.
- Caracterizar humedad de cámara y ambiental (% de humedad inicial y final).
- Caracterizar peso inicial, peso final.
- Caracterizar viento V.
- Caracterizar G (radiación vs tiempo).

Metodología

Construcción del dispositivo. Decidimos trabajar con una configuración de calentador solar directo, tal como se muestra en la ilustración 1.



Ilustración 13. Configuración del calentador solar directo



Materiales

- Madera MDF.
- Pintura color negro.
- Cubierta de plástico acrílico transparente.



Después del armado, el dispositivo se colocó orientado hacia el sur en un espacio abierto para la mayor captación de radiación solar partiendo de las 10:30 am y hasta las 3:30 pm determinando datos del dispositivo cada 10 minutos a través un Solarímetro el cual nos proporciona datos de radiación solar sobre metro cuadrado ($W \cdot m^{-2}$). Termo higrómetro nos proporciona datos de temperatura y humedad ($^{\circ}C$ y %H). Cámara termográfica nos proporciona datos en grados Celsius ($^{\circ}C$). Anemómetro nos proporciona datos de velocidad de flujo de aire ($(m)(s^{-1})$). Utilizamos una calabaza italiana debido a su alto contenido en agua, rebanamos un total de 29 rodajas de 1 cm de radio aproximadamente y con un peso total inicial de 57g, mismas que se colocaron en la bandeja interior del deshidratador.

Caracterizaciones

Periodo Cada 10min	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
Radiación ($W \cdot m^{-2}$)	620	660	579	851	745.5	777
Velocidad viento ($m \cdot s^{-1}$)	1.2	1.3	0	1.2	2.2	1.3
Temperatura $^{\circ}C$	29°	55°	53°	51°	54°	53°
Porcentaje de Humedad %	60%	48%	44%	36%	32%	33%
Peso inicial g	57g					
Peso final g	10g					

					Total	Promedio
13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	5 hrs.	
818.5	1110	430	504.4	603	23483	757.5161
2.1	2.1	0	0	0.1		0.854839
61°	67°	57°	48°	46°		52.9°
28%	23%	24%	29%	30%		35.06%

Tabla 6. Resumen de caracterización.

Se realizaron mediciones de caracterización el día 2 de octubre a partir de las 10:30 am hasta las 3:30 pm con un intervalo de diez minutos, alcanzando un total de 31 mediciones.



Ilustración 15. Caracterización velocidad de

Por medio de un anemómetro se registró la velocidad del viento en ($m \cdot s^{-1}$).



Ilustración 14. Caracterización temperatura

Con una cámara termográfica se registró la temperatura de la cámara interna del deshidratador en $^{\circ}C$.



Resultados

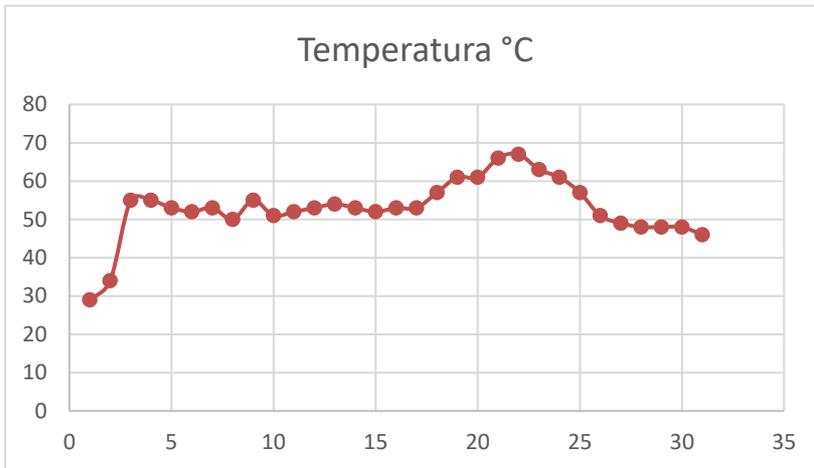


Ilustración 16. Gráfica de temperatura de cámara.

Utilizando una cámara termográfica se registraron 31 mediciones de temperatura dentro de la cámara del deshidratador, obteniendo un promedio de temperatura de 52.9°C.

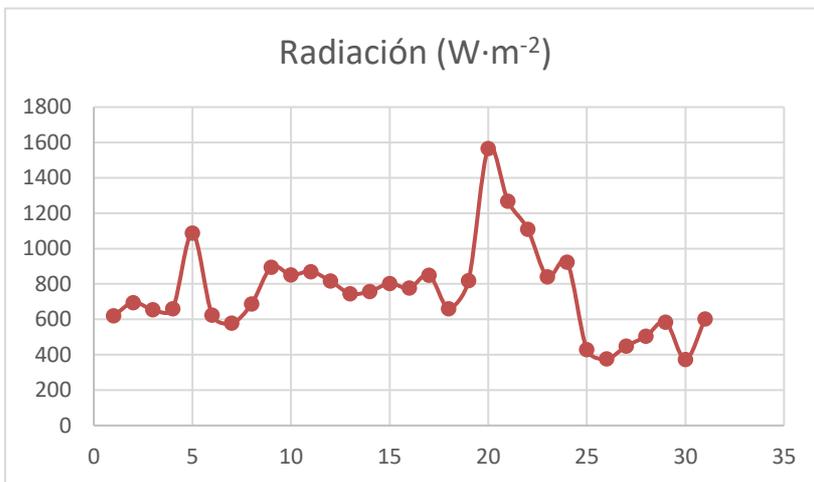


Ilustración 17. Gráfica de radiación solar.

Por medio de un solarímetro se registraron 31 mediciones de radiación solar promediando 757.5 $W \cdot m^{-2}$.

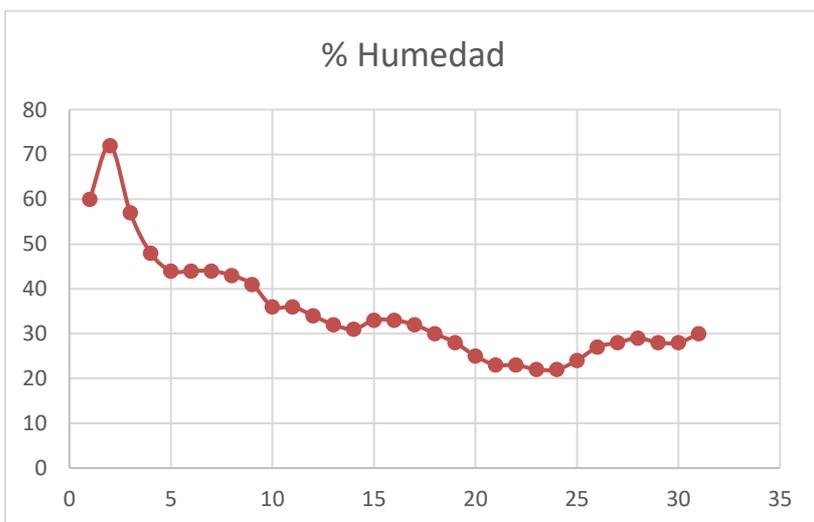


Ilustración 18. Gráfica porcentaje de humedad.

Con la utilización de un higrómetro se registraron 31 mediciones de humedad promediando 35% de humedad dentro de la cámara.



Velocidad del viento ($m \cdot s^{-1}$)

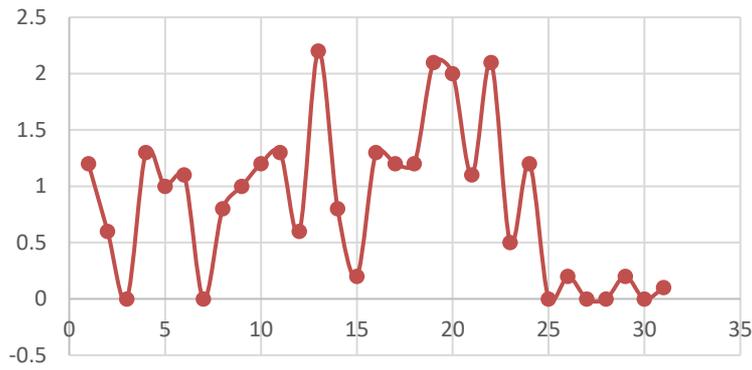


Ilustración 19. Gráfica velocidad del viento en ($m \cdot s^{-1}$)

La herramienta utilizada para medir la velocidad del viento fue un anemómetro, posterior a las 31 mediciones realizadas promediamos $0.85 m \cdot s^{-1}$



Ilustración 20. Calabaza deshidratada.

Al término de la caracterización apreciamos que la calabaza había reducido su tamaño mostrándose seca y en estado de deshidratación.

Determinaremos la *Energía captada* la cual se expresa de la siguiente manera:

$$E = G \cos \varphi t A$$

Ecuación 1. Energía captada

Donde G representa radiación ($W \cdot m^{-2}$)

Donde φ representa la latitud

Donde t representa el tiempo (HSP) Donde A representa el área de captación. Calculamos:

$$E = 4849.8 W \cdot m^{-2} \cos (20.62)(3)(0.14m^2) = 1.9 KW$$

Posteriormente calculamos la *Eficiencia por reducción de masa* este parámetro nos determinara la eficiencia de nuestro dispositivo con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{57g - 10g}{57g} =$$



$$\eta = \frac{m_1 - m_f}{m_1} \quad \eta = \quad 0.82$$

Ecuación 2. Eficiencia por reducción de masa.

Finalmente, lo que obtuvimos fue que la masa del alimento redujo en 73.5% pasando de un peso total de 57g a 10g por lo que consideramos que nuestro dispositivo funciona de manera correcta para la deshidratación de alimentos.

Conclusión

Gracias a este proyecto aprendimos sobre la conservación de alimentos de manera sostenible y la mejora de la seguridad alimentaria en entornos domésticos. Los resultados obtenidos, incluyendo una energía total captada de 1.9 KW y una eficiencia térmica de 1.9 Wh, respaldan la viabilidad y efectividad de este sistema. El deshidratador solar directo nos presenta una solución económica y ecológica para la conservación de alimentos, al tiempo que preserva los nutrientes y sabores naturales de los productos, contribuyendo así a una alimentación más saludable. En un mundo con desafíos crecientes en términos de seguridad alimentaria y sostenibilidad, este proyecto ofrece una alternativa viable. Las palabras clave de nuestro proyecto, como "Deshidratador solar directo", "conservación", "seguridad alimentaria" y "alimentos", subrayan su importancia en el contexto actual.

Referencias:

- [1] Unidad de Ecotecnologías de la UNAM. "Deshidratadores Solares – Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia". Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia – Departamento de Ecotecnologías CIECO UNAM Morelia. Accedido el 10 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>
- [2] SEMARNAT. "Transferencia de Tecnología y Divulgación sobre Técnicas para el Desarrollo Humano y Forestal Sustentable". Deshidratador solar de alimentos. Accedido el 21 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/manual-Deshidratador-Solar-de-Alimentos.pdf>





17 Secado de granos de cacao en un secador solar inflable

Roberto Tenorio-Herrera^{a*}, Carolina Urbina-Cornavaca^a, Apolinar Picado^b,
Rodolfo Espinosa^a

^aFacultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua

^bDepartment of Chemical Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden

*Autor de correspondencia: rteherrera@gmail.com

Resumen

En este trabajo se procesó granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un secador solar inflable (ISD). Trabajando el ISD como secador directo y activo, se redujo en cinco días el contenido de humedad de 84.6 kg de cacao recién fermentado de 50 a 7.4 %, con 25.5 horas acumuladas de exposición solar. A su paso por el secador, el aire desecante incrementó su temperatura entre 2 y 20 °C y redujo su humedad relativa entre 20 y 30 puntos porcentuales, con respecto a sus valores de entrada. La temperatura del grano siempre estuvo por debajo del límite máximo permitido (i.e., 65 °C). Por su parte, la eficiencia energética promedio del secador disminuyó conforme se reducía la humedad del grano al avanzar los días: de 72.6%, el primer día, a 8.5%, el quinto día. La evaluación físico-sensorial indica que el cacao obtenido tiene calidad aceptable para elaborar chocolate. Adicionalmente, este tipo de secador puede ser aprovechado para otros productos agrícolas.

Palabras clave: secador inflable, desempeño térmico, eficiencia energética.

Introducción

En Nicaragua el cacao es cultivado principalmente por pequeños y medianos productores; quienes requieren fermentar y secar el grano, para obtener un producto de buena calidad [1]. El cacao recién fermentado tiene una humedad de 50-55 %; la cual debe reducirse a 6.5-8 % [2], para evitar su deterioro.

Dependiendo de la capacidad económica del productor, el secado se realiza tendiendo los granos al sol; en gavetas de madera; o bien en secadores tipo samoá. Ventajas y desventajas de estos métodos son discutidas en [3] y [4].



Los productores que no pueden realizar la fermentación ni el secado, venden el cacao en baba a centros de acopio [5]; siendo sus ganancias menores debido a que el precio del cacao en baba es un cuarto o menos del precio del cacao beneficiado.

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, INTA, ha identificado las limitaciones e inconvenientes mencionados previamente; por lo cual, como parte de la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Cacao-cultura Nicaragüense (2017-2021), propuso a la Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, trabajar en el desarrollo de un secador solar destinado al secado de cacao.

Para realizar esta innovación se creó un equipo de trabajo interdisciplinario con estudiantes y docentes de tres licenciaturas en ingeniería: Agrícola, Electrónica y Química; quienes diseñaron un prototipo de secador solar inflable. Una vez construido el prototipo, el equipo de Ingeniería Química realizó su evaluación experimental secando cacao recién fermentado [6].

Metodología

El secador solar inflable, ISD [7] (también conocido como secador solar de burbuja, SBD [8]), construido en este proyecto (Fig. 1), tiene el fondo de lona vinílica impermeable reforzada con fibra de poliéster y recubrimiento de PVC (color negro); y la cubierta de plástico UV-ATG 50% (color blanco). Ambas secciones se unen por medio de una cremallera de alta resistencia. Tiene una longitud total de 6.15 m y ancho 1.80 m; con área útil 8.82 m², en la cual caben hasta 177 kg de cacao recién fermentado (masa máxima estimada de cosecha de un mediano productor).

Adicionalmente, este ISD cuenta con un sistema fotovoltaico para suministrar energía al ventilador, que lo infla, y a una resistencia eléctrica, utilizada como respaldo para periodos con baja radiación solar. Sensores incorporados miden humedad y temperatura del aire desecante, así como temperatura del grano.



Fig. 1. Prototipo de secador solar inflable, ISD, caracterizado como secador tipo túnel semicilíndrico, híbrido directo y activo, de baja temperatura.



Evaluación del prototipo de ISD

La evaluación del secador incluyó: la determinación del desempeño térmico y la eficiencia energética, así como la determinación de la calidad del grano procesado [9]. El desempeño térmico se estableció a través de la determinación de: el tiempo de secado; la velocidad de secado; el comportamiento respecto al tiempo de la temperatura y humedad relativa del aire, así como de la energía solar incidente.

Por su parte, la eficiencia energética del ISD se estableció determinando su eficiencia energética para cada día de experimento, η_{dia} , por medio de (1):

$$\eta_{dia} = \frac{E_{ev,dia}}{E_{S,dia}} \quad (1)$$

La energía utilizada por día para evaporar la humedad del material, $E_{ev,dia}$, se determinó con (2):

$$E_{ev,dia} = \int_{t_{i,dia}}^{t_{f,dia}} \dot{m}_{w,dia} \lambda_v dt \quad (2)$$

donde:

$\dot{m}_{w,dia}$ flujo másico de agua evaporada;

λ_v calor latente de vaporización del agua.

Adicionalmente, la energía solar suministrada por día al secador, $E_{S,dia}$, fue calculada con (3), a partir de datos de la energía total solar incidente sobre el piso por unidad de área, G_T :

$$E_{S,dia} = A_{lecho} \int_{t_{i,dia}}^{t_{f,dia}} G_T(t) dt \quad (3)$$

Finalmente, la calidad del cacao secado se estableció a través de los aspectos de calidad: sabor y de tres características físicas (humedad, peso de 100 granos, y análisis de prueba de corte) [10].

Procedimiento experimental

Para evaluar el ISD, se secaron 84.60 kg de cacao recién fermentado, distribuido en el área útil, cubriendo 3 m a lo largo y 1 m a lo ancho del secador, manteniendo 3 cm de espesor de lecho. Este lecho se dividió en tres zonas de 1 m de longitud; dentro de las cuales los granos se mezclaban manualmente cada 30 minutos. Inmediatamente se tomaban muestras para establecer la humedad promedio del cacao en cada zona de muestreo y con ellas calcular la humedad promedio para todo el lecho.

El secado se desarrolló durante cinco días, operando el ISD como secador directo y activo, con velocidad promedio del aire sobre el lecho 0.017 m/s. Los tiempos de exposición solar por día fueron: 3.5 h primer día; 5 h segundo y tercer día; 6 h cuarto y quinto día. Cada día se registraba la masa total de cacao al inicio y al final del tiempo de exposición. Además, al completar dicho tiempo, los granos se retiraban del secador y se guardaban en sacos, a 25-30°C y humedad relativa 60-70%.



Resultados y Discusión

Desempeño térmico del ISD

Se requirió de 25.5 horas acumuladas de exposición solar para reducir la humedad del cacao recién fermentado desde un valor inicial 50.0% hasta un valor final 7.4%, ambos en base húmeda. Tiempo total de procesamiento 100 h; con el resto del tiempo correspondiente a los períodos de almacenamiento. En comparación, secar en gavetas con clima favorable requiere de siete o hasta ocho días.

Por su parte, la velocidad de secado del cacao se presenta como una curva de velocidad de secado (Fig. 2), cuyo comportamiento coincide con lo reportado por [11]. Se observa un primer periodo decreciente rápido; en cerca de 10 h se reduce la humedad al 40% de su valor inicial. Seguidamente, hay un periodo decreciente lento; requiriéndose más de 15 h adicionales para alcanzar la humedad final.

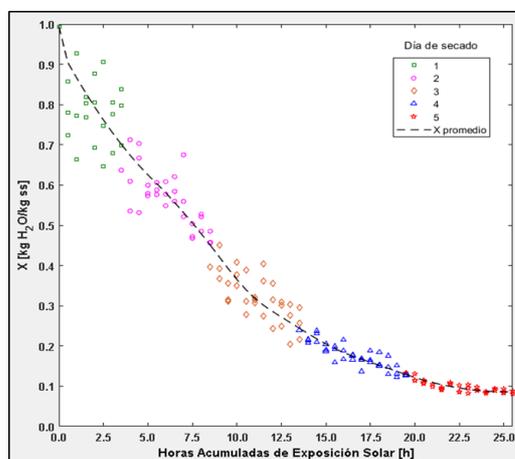


Fig. 2. Humedad en base seca del cacao como función de las horas acumuladas de exposición solar.

El comportamiento respecto al tiempo de la energía solar incidente, así como de la temperatura y humedad relativa del aire, se presentan en Fig. 3. En los primeros dos días la radiación solar contribuye a la evaporación de cerca del 55% de la humedad inicial del grano. El agua evaporada desde el sólido hacia el aire, contribuye al aumento de la temperatura del aire a la salida del secador. En cambio, en los últimos tres días la transferencia de humedad del cacao al aire se verifica a menor velocidad. A diferencia de los días previos, la radiación solar contribuye en mayor medida a aumentar la temperatura del sólido. Por su parte, el aire desecante siempre retira energía del sólido por intercambio de calor por convección forzada, provocando que su temperatura se mantenga en un rango de 45-50°C a la salida del secador.

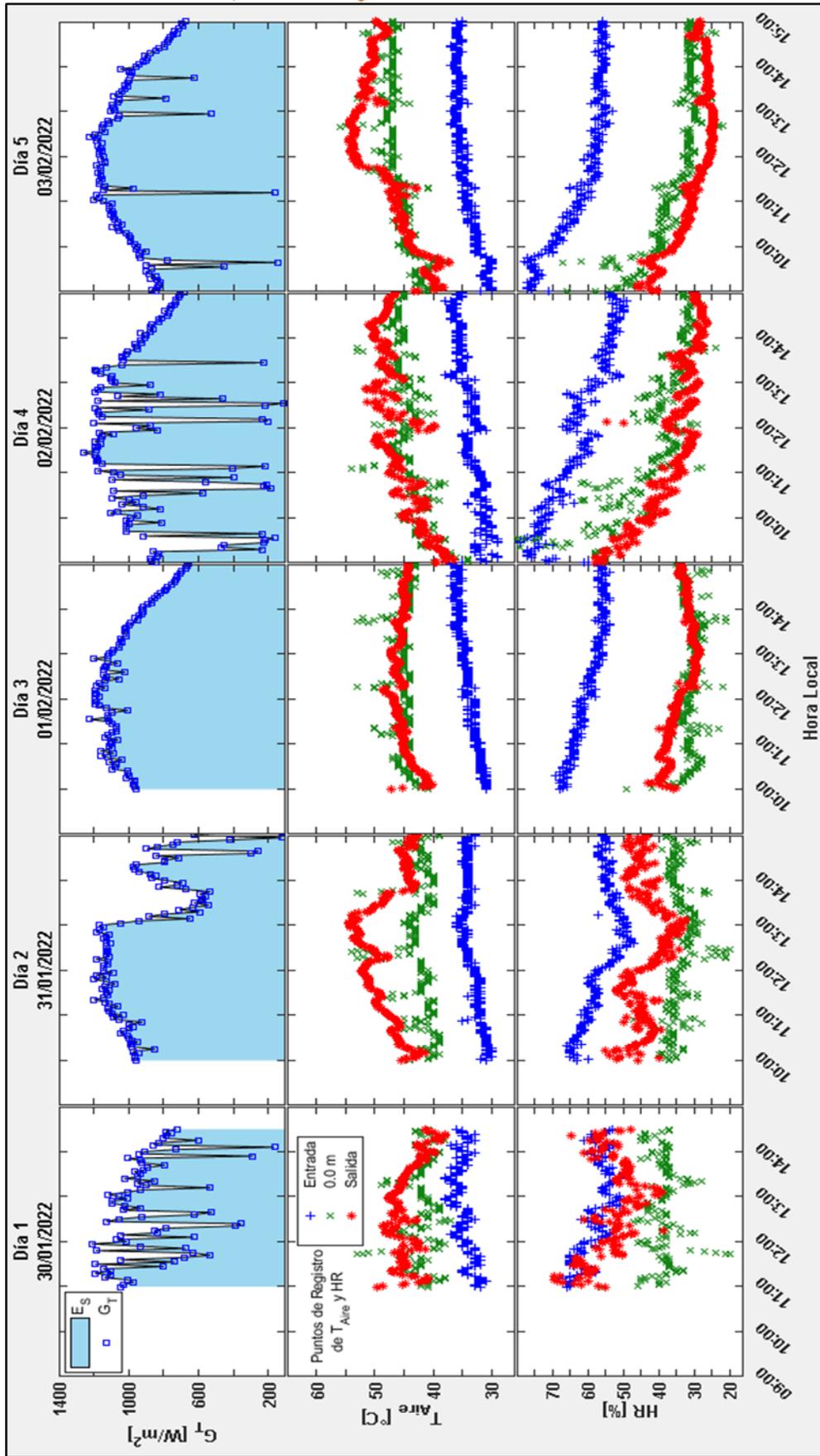


Fig. 1. Variación de la irradiancia (gráficas superiores), la temperatura del aire (gráficas centrales), y de la humedad relativa del aire (gráficas inferiores) como función de la hora local, para los cinco días de secado.



Eficiencia Energética del ISD

La eficiencia energética promedio del ISD decreció conforme se reducía la humedad del cacao con los días (Tabla 1); concordando con lo reportado en [12]. Probablemente, las altas eficiencias se deben a la presencia de humedad en o cerca de la superficie del producto (humedad libre), que puede ser removida fácilmente. En cambio, las eficiencias bajas se obtienen a contenidos de humedad bajos, ya que la humedad ligada requiere más energía para su remoción. [13]

Tabla 1. Eficiencia energética promedio diaria del prototipo de ISD.

Día	Horas de exposición solar [h]	$\bar{X}_{\text{principio}}$ [kg H ₂ O/kg ss]	\bar{X}_{final} [kg H ₂ O/kg ss]	$\eta_{\text{día}}$ [%]
1	3.5	1.00	0.78	72.63
2	5.0	0.64	0.47	26.77
3	5.0	0.40	0.26	24.58
4	6.0	0.24	0.13	18.27
5	6.0	0.13	0.08	8.51

Calidad del cacao obtenido

Según el perfil sensorial del cacao obtenido, la intensidad de los tres sabores no deseados: tierra, humo y astringencia; es mínima. En cambio, la intensidad del sabor deseado a chocolate obtuvo una puntuación alta (4 de 5). Por su parte, el sabor no deseado acidez se encuentra en un valor intermedio. Sin embargo, si este cacao es destinado a la elaboración de chocolate, durante su procesamiento dicha acidez tiende a desaparecer.

Finalmente, 100 granos de cacao pesaron 137 g; así que el peso promedio de un grano sería de 1.37 g. Según la clasificación para tamaño de grano colombiano de Fedecacao (2016), el índice del grano sería bajo ya que su valor es menor de 1.4 g.

Conclusiones

En este trabajo se comprobó que el cacao recién fermentado puede ser secado satisfactoriamente en un secador solar inflable. El prototipo de secador construido es una herramienta de gran utilidad para establecer los protocolos de secado de las distintas variedades de cacao; así como de otros productos agrícolas, tales como granos básicos. Además, este prototipo servirá de referente para futuras evaluaciones y por tanto para el diseño de secadores para cada producto específico.



Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, INTA, por su patrocinio, y en especial a los miembros del Departamento de Investigación en Alimentos y Postcosecha involucrados en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] J. M. Johnson, J. C. Bonilla & L. Agüero-Castillo, *Manual de Manejo y Producción del Cacaotero*. León, Nicaragua, 2008.
- [2] O. Morales-Dávila, *Cartilla Técnica -Cosecha y Postcosecha del Cacao*. Managua, Nicaragua: IPADE, 2017.
- [3] INTA, *Guía Tecnológica del Cultivo de Cacao*. Managua, Nicaragua: INTA, 2009.
- [4] M. Navarro-Prado & I. Mendoza-Alonso, *Cultivo del Cacao en Sistemas Agroforestales*. Río San Juan, Nicaragua: ProDeSoC, 2006.
- [5] T. Martínez-Mendoza, M. Navarro-Prado & A. Camacho-Obando, *Cacao de Calidad Beneficiado en Centros de Acopio*. Río San Juan, Nicaragua: ProDeSoC-IPADE, 2010
- [6] R. E. Tenorio-Herrera & M. C. Urbina-Cornavaca, "Evaluación de un Prototipo de Secador Solar Inflable de Bolsa para el Secado de Cacao", tesis de licenciatura, Fac. Ing. Química, UNI, Managua, Nicaragua, 2023.
- [7] A. Salvatierra-Rojas, M. Nagle, M. Gummert, T. de Bruin & J. Müller, "Development of an Inflatable Solar Dryer for Improved Postharvest Handling of Paddy Rice in Humid Climates", *Int J Agric & Biol Eng*, vol 10, no. 3, pp. 269–282, May 2017.
- [8] K. A. Armah, J. O. Akowuah, G. Obeng-Akrofi & S. G. McNeill, "Application of Analytic Hierarchy Process in Selection of an Appropriate Drying Platform for Maize Drying in a Solar Bubble Dryer", *Open J Appl Sci*, vol. 11, pp. 157-175, January 2021.
- [9] M. A. Leon, S. Kumar & S. C. Bhattacharya, "A Comprehensive Procedure for Performance Evaluation of Solar Food Dryers", *Renew Sust Energ Rev*, vol. 6, no. 4, pp. 367-393, August 2002.
- [10] M. J. End & R. Dand, Eds., *Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements*, CAOBISCO/ECA/FCC, 2015.
- [11]. E. Baryeh, "Cocoa Drying and Storage Using Charcoal and Solar Heated Rocks", *AMA Agric Mech Asia Afr Lat Am*, vol 16, no. 1, pp. 23-28, January 1985.
- [12] B. R. Chavan, A. Yakupitiyage & S. Kumar, "Drying Performance, Quality Characteristics, and Financial Evaluation of Indian Mackerel (*Rastrilliger Kangurta*) Dried by a Solar Tunnel Dryer", *Thammasat Int J Sc Tech*, vol. 16, no. 2, pp. 11-25, April-June 2011
- [13] J. Banout, P. Ehl, J. Havlik, B. Lojka, Z. Polesny & V. Verner, "Design and Performance Evaluation of a Double-Pass Solar Drier for Drying of Red Chilli (*Capsicum annum L.*)", *Solar Energy*, vol. 85, no. 3, pp 506-515, March 2011.





18 Análisis de poligeneración de energía para el calentamiento de agua en el tratamiento térmico de mango de exportación en el sur de Sinaloa

*Dagoberto Rodríguez-Ortiz^a*Luis R. Hernández Nájera^a, Carlos A. Espino Reyes^a, Jorge A. Escobedo-Bretado^a*

^aCentro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV #110, Ejido, Arroyo Seco, CP 34147, Durango, Dgo., México.

**Corresponding author: dagoberto.rodriguez@cimav.edu.mx*

Resumen

Se presenta el estudio de un sistema de poligeneración de energía utilizando equipos de energía solar fototérmica, solar fotovoltaica y biomasa; propuesto para suministrar la energía requerida por el sistema de calentamiento de agua utilizado durante el tratamiento térmico y la requerida para la refrigeración de un cuarto frío; utilizados para el mango de exportación producido en el municipio de Escuinapa en el estado de Sinaloa. El estudio fue realizado por medio de simulación dinámica utilizando el programa TRNSYS 17. Fueron consideradas las cantidades medias de producción, así como las condiciones meteorológicas locales obtenidas con Meteonorm 8. Se llevó a cabo un estudio económico considerando una vida útil de 20 años, utilizando como referencia los costos de inversión y operación del proyecto. Los resultados muestran que, utilizando 65 colectores solares térmicos y 175 módulos fotovoltaicos, el costo del proyecto puede ser de 2.5 millones de pesos, es decir una reducción del 70% comparado con el costo de 8.5 millones de pesos cuando no se utilizan estos equipos de captación de energía solar.

Palabras clave: energía solar, conservación de alimentos, refrigeración, aprovechamiento de residuos, poligeneración.

Introducción

El mango es uno de los frutos de mayor importancia en el país; en el año 2019 se exportó al extranjero una cantidad cercana a las 450,524 toneladas de este producto, convirtiendo a México en el sexto productor a nivel mundial [1]. Uno de los estados donde se cosecha este fruto es Sinaloa, en esta entidad se estima que anualmente se cosechan entre 200 y 220 mil toneladas, de los cuales una cantidad considerable es destinada a la exportación al extranjero [2], [3].

La exportación de mango al extranjero es un proceso que requiere de un tratamiento previo como medida de gestión de riesgo de plagas, uno de los tratamientos posibles es la inmersión del producto en agua caliente. De acuerdo con las especificaciones estandarizadas, el fruto fresco debe de sumergirse en agua a una temperatura de 46.1°C o superior por un periodo de entre 75 y 110 minutos dependiendo del peso del fruto y su especie [4]. Este tratamiento hidrotérmico



debe de llevarse a cabo en una instalación adecuada, la cual debe asegurar que el producto sea sometido a temperaturas uniformes.

Así mismo, posterior al tratamiento hidrotérmico la exportación de mango requiere de un proceso de refrigeración para su almacenamiento y traslado, esta etapa del proceso también requiere de condiciones específicas que permitan la correcta conservación del producto sin generar daños por frío; la temperatura ideal para la conservación del mango suele ser de entre 10 y 12.5°C, dependiendo de la especie [5].

El conjunto del tratamiento hidrotérmico y la refrigeración del mango provoca que la exportación de mango requiera de un proceso de alta intensidad energética. Esto puede representar un reto para los productores locales y es una oportunidad para incorporación de tecnologías novedosas que aumenten la rentabilidad de esta actividad económica. Una de las alternativas novedosas es la implementación de un sistema de poligeneración de energía, el cual es un proceso que permite la producción simultánea de múltiples formas de energía a partir de una sola fuente de combustible. Estas formas de energía pueden incluir electricidad, calor y refrigeración, buscando aprovechar al máximo el potencial termodinámico de cada uno de los recursos utilizados [6].

En el presente trabajo se plantea un sistema de poligeneración de energía para suplir la demanda energética eléctrica y térmica de los procesos de tratamiento térmico y refrigeración de mango como se muestra en la Figura 1.

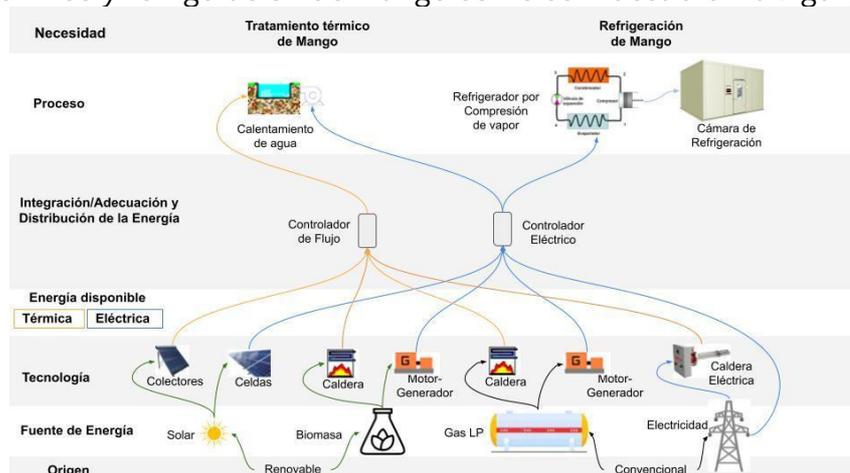


Figura 1. Esquema conceptual del sistema de poligeneración propuesto para el tratamiento térmico y refrigeración de mango

Objetivo

Dimensionar un sistema preliminar de poligeneración de energía para los procesos de tratamiento térmico y refrigeración de mango.

Metodología

Sistema de tratamiento y almacenamiento

El sistema de procesamiento de mango propuesto consiste en un estanque de agua con un volumen de 18.75m³ y un cuarto frío de 84m³. Se tomó en cuenta un sistema continuo, en el cual se introducen de forma secuencial canastas con el producto dentro del agua por un tiempo de entre 75 y 110 minutos a una temperatura de 46 °C. El sistema considerado tiene una capacidad para procesar



10 toneladas de mango diariamente. La ubicación del sistema de estudio se encuentra en el municipio de Escuinapa, Sinaloa, el cual es uno de los principales productores de mango a nivel nacional [2]. Finalmente, se considera que el proceso se lleva a cabo durante dos turnos de trabajo.

Sistema de poligeneración

Se desarrolló un modelo del sistema de poligeneración de energía, simulado en TRNSYS 17, para el abastecimiento del tratamiento hidrotérmico de mango y la refrigeración para su almacenamiento. El sistema de tratamiento de mango cuenta con una caldera de gas LP con una potencia de 380 kW que se utiliza para calentar el agua en el estanque de tratamiento; también se cuenta con una caldera eléctrica, que sirve como respaldo para el calentamiento del agua. El equipo de refrigeración del cuarto frío utiliza energía eléctrica y tiene una potencia nominal de 2,82 kW.

El sistema de poligeneración de energía dimensionado se basa en cuatro fuentes principales. El sistema incorpora un sistema fotovoltaico interconectado a la red con micro inversores, los cuales generan energía eléctrica que es consumida por el equipo de refrigeración y por una caldera eléctrica para la calefacción del estanque de tratamiento. También se considera un conjunto de colectores solares, que durante las horas de mayor radiación solar, proveen de agua caliente al estanque de tratamiento térmico, reduciendo el consumo de energía de las calderas tradicionales. El sistema también cuenta con una caldera de biogás.

La jerarquía del sistema establece que la energía solar es la de mayor prioridad y, por lo tanto, será la fuente principal de suministro, seguida de la biomasa, el gas LP y, por último, la electricidad de la red.

Sistema fototérmico

El aprovechamiento de la energía solar fue calculado a través de una curva de eficiencia térmica cuadrática (Ecuación 1). Para la cual se utilizaron las especificaciones de colectores solares de tubos evacuados disponibles en el mercado, mismos que han sido probados en EUA. El área total del colector es de 4.4 m² y la tasa de flujo a la use fue probado de 0.02 kg/s m². En la ecuación 1 se muestra el comportamiento de la eficiencia térmica de dicho colector.

$$\text{Ecuacion 1} \quad \eta = 0.442 - 0.968 \left(\frac{(T_i - T_{Amb})}{I} \right) - 0.0071 \left(\frac{(T_i - T_{Amb})^2}{I} \right)$$

Donde: η es la eficiencia térmica del colector, T_i es la temperatura de agua de entrada, T_{Amb} es la temperatura ambiente e I es la radiación solar incidente sobre el colector [7].

Sistema fotovoltaico

Como parte de los elementos del sistema de poligeneración se consideró un sistema fotovoltaico interconectado a la red (SFVI); el sistema propuesto se compone de módulos fotovoltaicos monocristalinos de la marca ET Solar® y micro inversores marca Hoymiles®. Se consideró una eficiencia de 21.5% para los módulos fotovoltaicos, de 96.5% para los microinversores y del 97% para el cableado[8].

La cantidad de módulos del sistema fue una de las variables analizadas en el análisis de optimización y su producción de energía se simuló utilizando el Type 103b de TRNSYS. Las características de los componentes del SFVI se muestran con mayor detalle en la siguiente tabla 1.



Tabla 1 Características Modulo FV y microinversor

Módulo fotovoltaico ET-M772BH550WW/WB 550W		Microinversor HMS-1000-2T	
Potencia máxima*	550 W	Módulo de potencia de uso común	400 a 625 W
Voltaje de circuito abierto*	49.90 V	Voltaje de entrada máximo (V)	65 V
Corriente de corto circuito*	14.00 A	Corriente de entrada máxima	16 A
Voltaje en el punto de máxima potencia*	41.96 V	Voltaje nominal de salida	220 V
Corriente punto de máxima potencia*	13.11 A	Frecuencia nominal	60 Hz

*Condiciones estándar de prueba (STC)

Simulación y análisis

Se desarrolló un análisis paramétrico para evaluar el desempeño energético del sistema, utilizando diferentes cantidades de módulos fotovoltaicos y colectores solares térmicos. El estudio evaluó todas las combinaciones posibles variando la cantidad de módulos fotovoltaicos entre 2 y 200; así como la cantidad de colectores entre 1 y 80. En total se llevaron a cabo las simulaciones de 8,500 escenarios diferentes.

En cada simulación se contabilizó el consumo energético de los elementos del sistema (caldera gas LP, caldera eléctrica, caldera de biogás, bomba de agua y el equipo de refrigeración del cuarto frío), así como la generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico. Cada simulación se llevó a cabo para un periodo de un año, al final del cual se calculaba el balance energético para determinar el costo de la energía en el proceso.

Dentro de la simulación se programó el cálculo del valor presente para evaluar el costo de la energía durante un periodo de 20 años. Para este cálculo se utilizó el costo actual del kWh en la tarifa GDMTO (\$1.338/kWh) en la ubicación seleccionada, así como el incremento anual promedio del mismo considerando su valor desde el año 2017 al año presente (.3.38%). La misma consideración se realizó con el costo promedio del gas LP (\$19.46/kg) y el aumento promedio anual de este valor (3.04%) [9], [10].

Resultados

Teniendo como función de respuesta el costo del proyecto de poligeneración de energía para un tiempo de 20 años, en el presente trabajo se muestran los resultados del uso de colectores solares térmicos y módulos fotovoltaicas principalmente.

En la Figura 2, se muestra una tendencia general de reducción de costo cuando aumenta el número de colectores solares térmicos utilizando diferentes números de módulos fotovoltaicos.

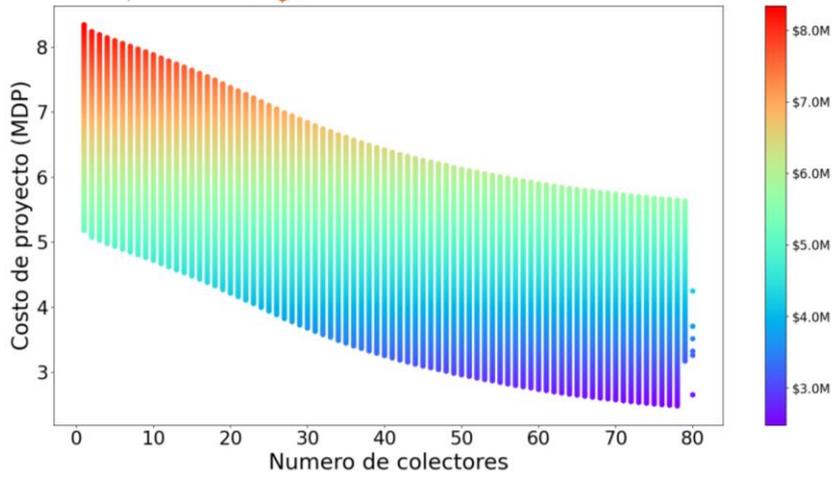


Figura 2 Grafica Costo del proyecto y numero de colectores

Los resultados muestran que, utilizando sólo la tecnología tradicional con energía convencional, Gas LP, el proyecto puede tener un costo de alrededor de 8.5 millones de pesos, sin embargo, cuando se usan 65 colectores y 175 módulos fotovoltaicos, el costo del proyecto puede llegar a ser de 2.5 millones de pesos, es decir, se puede tener una reducción del costo total durante 20 años del 70%.

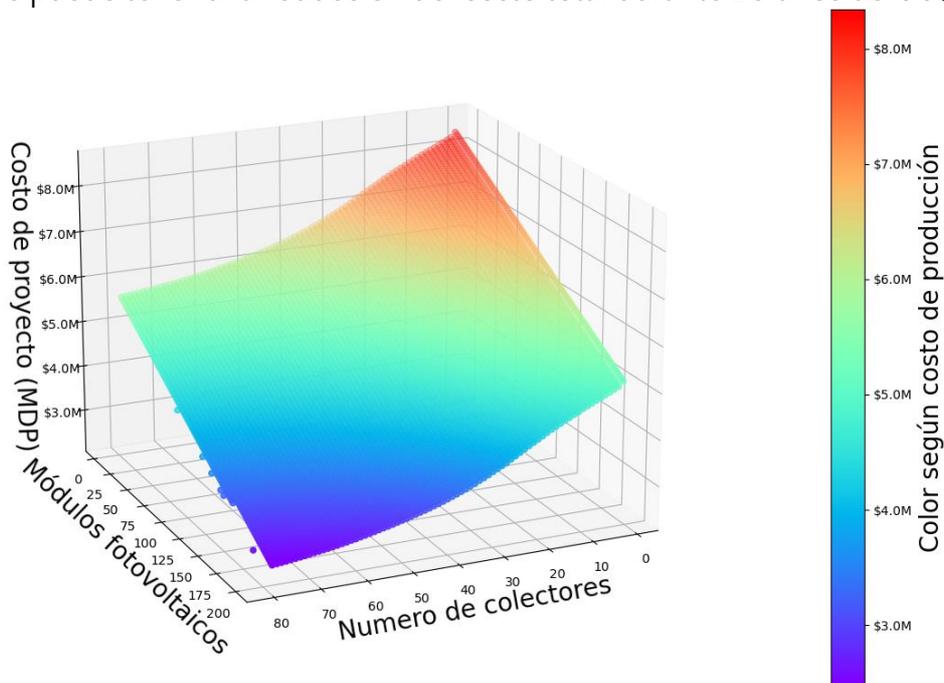


Figura 3 Grafica 3D Costo del proyecto, numero de colectores y módulos fotovoltaicos

Conclusiones

Se presenta un dimensionamiento preliminar de un sistema de poligeneración de energía, para los procesos de tratamiento térmico y refrigeración de mango.

Debido a que el sistema está dimensionado para trabajar todo el año, podría cubrir la demanda de energía tanto para el mango, en sus diferentes variedades, que puede ser de entre siete y ocho meses, como para otros productos agrícolas de interés regional como son los casos del chile jalapeño, el tomate y la ciruela por mencionar algunos.



Finalmente se concluye que un sistema de poligeneración, donde se deben proveer diferentes tipos de energía a diversos procesos con múltiples fuentes de energía, incluyendo las renovables que son intrínsecamente variables en el tiempo, debe ser analizado con herramientas de cómputo especializadas en sistemas energéticos en estado transitorio, debido a la naturaleza cambiante de las fuentes y demandas de energía.

Bibliografía

- [1] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, “El mango, producto estrella en México.” Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico>
- [2] Marimar Toledo, “Productores de mango del sur de Sinaloa registran pérdidas en esta temporada,” El Sol de Mazatlán, Mazatlán, Aug. 24, 2023. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.elsoldemazatlan.com.mx/local/productores-de-mango-del-sur-de-sinaloa-registran-perdidas-en-esta-temporada-10589891.html>
- [3] Javier Vega, “Sinaloa alcanza el primer lugar en las exportaciones de mango en México,” Debate, Aug. 21, 2023. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.debate.com.mx/agro/Sinaloa-alcanza-el-primer-lugar-en-las-exportaciones-de-mango-en-Mexico-20230821-0103.html>
- [4] SENASICA, “Plan de trabajo para la exportación de mangos frescos de México a Australia,” Apr. 2023. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/829859/20230428_Att_1_Work_Plan_for_the_export_of_fresh_mango_from_Mexico_to_Australia_es.pdf
- [5] J. A. Osuna-García, Y. Nolasco-González, R. Gómez-Jaimes, and Ma. H. Pérez-Barraza, “Temperaturas de refrigeración para el envío de mango ‘Kent’ y ‘Keitt’ hacia mercados distantes,” Revista iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Jun. 2019, Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562004/html/>
- [6] V. M. Ambríz Díaz, C. Rubio Maya, J. J. Pacheco Ibarra, and E. Pastor Martínez, “Análisis exergético convencional aplicado a una planta de poligeneración operando en cascada geotérmica,” Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 20, no. 3, pp. 1–10, Jul. 2019, doi: 10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.035.
- [7] J. Y. Escobedo-Bretado and I. Martín-Domínguez, “Determinación del requerimiento energético para calefacción en un invernadero agrícola y dimensionamiento del sistema Termosolar-Gas L.P. requerido para su suministro óptimo,” 2015.
- [8] Secretaría de Energía, “NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELÉCTRICAS,” 2012.
- [9] Comisión Federal de Electricidad, “Tarifa GDMTO,” Conoce tu tarifa. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GrandemandaMTO.aspx>
- [10] Comisión Reguladora de Energía, “Historial de precios promedio al público de gas LP reportados por los distribuidores,” Documentos. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/cre/documentos/historial-de-precios-promedio-al-publico-de-gas-lp-reportados-por-los-distribuidores>





19 Ensayos de caracterización de cocina solar fotovoltaica sin electrónica ni batería

Antonio Lecuona Neumann ^{a*} Erandi Anais Montiel Baltazar ^b y Alfredo Domínguez Niño ^c

^a *Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España: lecuona@ing.uc3m.es*

^b *Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España e Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, mbea@ier.unam.mx*

^c *Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México aldoni@ier.unam.mx.*

Resumen

Se presentan resultados experimentales de un prototipo de cocina solar alimentada con un panel fotovoltaico, el cual se conecta directamente a resistencias disipadoras en calor de tipo PTC (Positive Temperature Coefficient). Éstas conforman una placa caliente sobre la que se puede cocinar. Por lo tanto, se logra una baratura y sencillez extrema, lo que hace que este dispositivo sea particularmente interesante para familias situadas en lugares aislados y/o remotos y con riesgo de pobreza energética. Se emplea agua en lugar de alimento, para así lograr determinar homogéneamente parámetros básicos de interés para la valoración del conjunto y su extrapolación a modelos prácticos.

Palabras clave: Cocina solar fotovoltaica, PTC, Desarrollo sostenible, Pobreza energética.

1. Introducción

Actualmente, se reconoce el potencial de la cocina solar de luchar contra la pobreza y la vulnerabilidad energéticas, ayudar al desarrollo sostenible y descarbonizar la cocción y procesamiento de alimentos. Generalmente, se usa la absorción y disipación directa de los rayos solares en calor, las llamadas cocinas solares térmicas [1]. La baratura de los paneles fotovoltaicos, su escaso peso, alta fiabilidad y la posibilidad de cocinar bajo techo, mientras que el panel está bajo el sol en el exterior, inspiran una confianza aún mayor en la relevancia de las cocinas solares, ahora fotovoltaicas. Además, la electricidad producida es útil para otras aplicaciones esenciales en una vivienda, como carga de baterías portátiles para iluminación, etc.

En los tamaños familiar y comunitario, resulta común asociar el panel fotovoltaico a



un maximizador de su potencia, de mayor o menor eficacia, el cual suele venir acompañado, bien de un inversor, si se desea establecer una red eléctrica de CA, bien un cargador de batería. Para las aplicaciones de menor coste, ambas posibilidades no resultan satisfactorias. Además, las baterías resultan costosas, pesadas, de vida limitada y tóxicas si se abandonan al final de su vida útil. Ya que el objetivo es la cocción, resulta evidente que almacenar térmicamente es una opción más interesante. También resulta evidente que la electricidad ha de disiparse en calor en el utensilio de cocción. Una posibilidad es usar el efecto Ohm, con potencia $W = VI = I^2R$, siendo V la tensión de alimentación e I la intensidad a través de una resistencia R . Un maximizador de potencia (MPPT, Maximum Power Point Tracking) requiere electrónica, la cual supone problemas de mantenimiento y reparación en lugares remotos y aislados. Entonces, ¿Se puede prescindir de ello?, lógicamente con una cierta pérdida de producción eléctrica.

En [1] se puede encontrar una solución, consistente en colocar un conjunto de resistencias directamente conectadas al panel. Éstas se pueden desconectar a mano, haciendo uso de interruptores, simplemente observando la potencia lograda, con un vatímetro digital de bajo coste se aproxima el punto de máxima potencia. Además, se ha optado por que estas resistencias sean semiconductoras, cerámicas, denominadas PTCs (Positive Temperature Coefficient). Son actualmente muy usadas en muy variadas aplicaciones, por lo que su coste es inferior a 1 €. Ofrecen una resistencia alta a temperatura ambiente (NTC), ésta desciende a temperaturas medias y a la temperatura de Curie, en torno a 200 °C en su exterior, duplican su resistencia, aumentando exponencialmente a mayores temperaturas (PTC). Esto limita la potencia, impidiendo el quemado del alimento y de la propia cocina, una suerte de efecto termostático. Se ha usado un prototipo de una cocina de pequeño tamaño para obtener resultados experimentales, en el ensayo de calentamiento y de enfriamiento en una colaboración entre las instituciones citadas.

2. Materiales y métodos

El prototipo de utensilio ha sido construido por Mr. Jean Boubour [2] y [3], cuya base teórica puede encontrarse en [2].

Se dispuso de un panel fotovoltaico comercial, común, policristalino, tipo REDSOLAR REG31072P, adecuado para aplicaciones domésticas, y con precio actual entre 100 y 150 €. La potencia máxima nominal es de 310 W (STC) a 36,5 V con un coeficiente térmico de potencia con la temperatura $-0,35\%/K$, NOCT = 45, y un área exterior de 1,92 m². Su edad es de 6 años, Figura 1. Se ha inclinado 45 ° mirando al sur e inmóvil, en Leganés, Madrid, España, Campus de la Universidad Carlos III de Madrid. Se ha conectado directamente a un conjunto de 6 PTCs comerciales y de origen chino, conectadas en paralelo, las cuales son de tipo encapsulado en aluminio con un



calzetín interno aislante de Capton®. Nominalmente son para 36 V y ofrecen una resistencia mínima de 7 Ω en media. Ello significa que, estando todas conectadas, es necesario superar la temperatura de Curie para disipar toda la potencia [2]. En consecuencia, la temperatura de la placa caliente ha de ser alta y ello depende de la temperatura de la olla colocada sobre ella y en menor medida, de la temperatura ambiente, del aislamiento, y de la conductancia térmica con la olla. No se usó grasa conductora del calor. Las 6 PTC se han fijado bajo una placa caliente de latón, circular de \varnothing 14 cm. Sobre ella se apoyó una olla a presión que evite la evaporación. Es modelo Hawkins Classic CL15, de 15×15 \varnothing cm y de 1,5 litros de capacidad máxima, cargando 1 litro de agua, desnuda, tal cual se muestra o en la Fig. 3, o alternativamente, rodeada de un aislamiento térmico lateral, Fig. 2. Una unidad de control incorpora el vatímetro, un interruptor general y 3 interruptores que conectan 1, 2, o 3 PTCs, lográndose por combinación de ellos, 6 niveles de carga resistiva al panel. El acople con el panel indica más resistencia a irradiancias y temperaturas bajas, y menos a altas [2], lo cual permite acercarse a la potencia máxima observando el vatímetro y eligiendo la mejor combinación. La Figura 1 muestra su disposición



Figura 1. Izq. El panel central se ha usado para los ensayos. Centro. Tipo de PTC usada. Der. Placa caliente y PTCs bajo ella.

Se dispuso de un sistema de adquisición de datos conectado a un ordenador por USB, de tipo Pico Technologies® TC-08, usando termopares tipo K, previamente calibrados en pozo húmedo. Se midió con termopares, algunos duplicados: la temperatura de las PTCs, la placa, costado y/o tapa de la olla, que resultó ser casi idéntica a la del agua, y la del ambiente. Complementaron las mediciones un solarímetro fotovoltaico MacSolar®, un anemómetro de mano, un termómetro de alta precisión para la temperatura ambiente y uno de infrarrojos para la temperatura del centro del panel. Las mediciones se contrastaron con una estación meteorológica dotada de piranómetro horizontal, piranómetro de banda, anemómetro, veleta, y termómetro. Además, se verificaron las mediciones del vatímetro con pinza amperimétrica y un multímetro, detectándose diferencias apreciables, Figuras 2 y 3.



La metodología se basó en efectuar dos ensayos no estacionarios contiguos, comenzando por la mañana al sol. El primero es de calentamiento, permite determinar el tiempo para el comienzo de la ebullición al aire libre, en las condiciones de selección de resistencias que un usuario podría realizar con este dispositivo. Una vez estabilizadas las temperaturas a la temperatura de estancamiento se iguala la potencia eléctrica a las pérdidas al ambiente, si bien no se homogenizan las temperaturas. A partir de ahí se procedió a desconectar el panel fotovoltaico y proceder al ensayo de enfriamiento. Una vez homogeneizadas las temperaturas a una común T , se puede aplicar un balance térmico de 1 elemento, que permite obtener la conductancia térmica global al ambiente UA , una vez determinada la capacidad térmica del conjunto constante C por medición, siendo UA , T y T_{amb} variables con el tiempo t , pero fundamentalmente dependiente de la sobretemperatura $T - T_{amb}$.

$$C \frac{dT}{dt} \cong \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2\Delta t} = (UA)_i (T - T_{amb})_i \quad (1)$$

Si aceptáramos que UA y T_{amb} son constantes, se tiene el tiempo característico de enfriamiento $t_c = C/UA$ [1]. El índice i señala la muestra en el registro de temperaturas con intervalo constante $\Delta t = t_{i+1} - t_i = 10$ minutos.



Figura 2. Izq. Unidad de control, olla a presión aislada e instrumentada con termopares. Der. Instrumentación usada: pinza amperimétrica, multímetro, solarímetro, termómetro de infrarrojos, sensor de Pt100 y anemómetro de mano.

Para determinar el efecto de un aislamiento térmico de la olla, tal que permita abrir la olla y manipular el alimento, se dispuso un abrigo lateral de fibra de roca, tomado de aislamiento comercial de chimeneas y de tuberías de termofluidos; fue recubierto de cinta adhesiva de aluminio para evitar la contaminación por fibras, Figura 2.

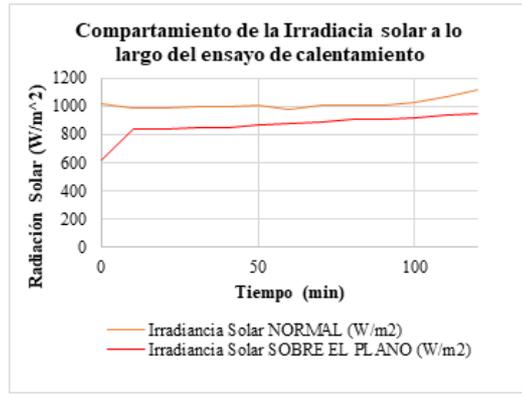


Figura 3. Izq. Puesto de trabajo bajo los paneles fotovoltaicos, mostrando la olla desnuda, unidad de control, la instrumentación, "data logger" y ordenadores para monitorización. Der. Irradiación a lo largo del ensayo de calentamiento 07/07/2023.

3. Resultados y discusión

Se reporta principalmente el ensayo realizado el 07/07/2023 con cielo despejado y claro ver Figuras 3 y 4, comenzando a las 12:03 hora oficial, terminándose a las 4:01 pm. El viento fue moderado, con rachas térmicas de, como máximo, 3 m/s.

La Figura 4 (Izq.) muestra la potencia medida tras corregir los datos del vatímetro, llegando a la máxima posible en las condiciones operativas. Puede observarse una bajada de potencia al estar frías la PTC conectada y tomar temperatura, al comienzo, seguido de un transitorio breve al conmutar de 3 a 4 resistencias. A su vez, el gráfico de la derecha muestra la temperatura de la tapa, inferior en 1 o 2 grados a la del agua; alcanza los 100 °C a los 50 minutos. A partir de los 130 minutos de comenzar, se observa una evolución exponencial decreciente de T hacia la temperatura ambiente.

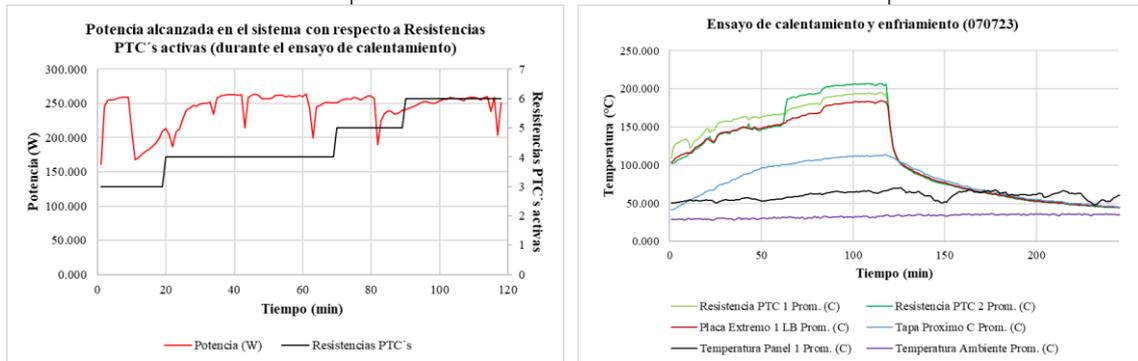


Figura 4. Izq. Potencia del panel y número de PTC activas durante el calentamiento. Der. Evolución de las temperaturas durante el calentamiento y enfriamiento

La Figura 5 muestra los valores de UA obtenido con la expresión (1). Para olla desnuda y el 29/06/2023, su recta de regresión muestra un valor decreciente con la sobretemperatura, en sentido contrario al que predice la teoría, lo que se atribuye a



errores instrumentales y al efecto del viento térmico ambiental. El ensayo del 07/07/2023 muestra un valor casi insensible a la sobretemperatura. Y lo que es más sorprendente, valores de UA prácticamente idénticos. Ello apunta a que las pérdidas por la parte inferior del dispositivo, placa caliente y PTCs, así como de la tapa, son relevantes y pudieran ser dominantes. Estudios posteriores dilucidarían este asunto.

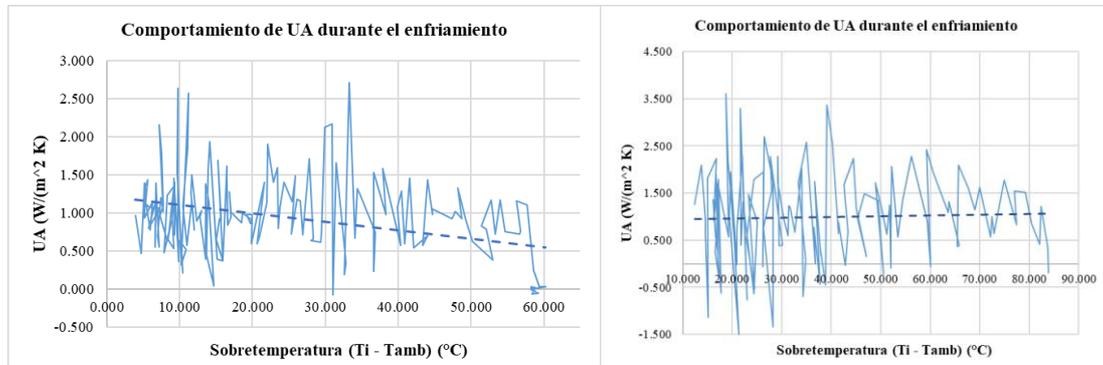


Figura 5. Izq. Valores instantáneos de UA obtenidos durante el ensayo de enfriamiento el 29/06/2023 y olla desnuda. Der. Ensayo del 07/07/2023 con olla aislada térmicamente por su costado.

4. Conclusiones

Se ha caracterizado un prototipo de cocina solar avanzada, fotovoltaica, sin electrónica ni baterías, adecuada para comunidades remotas y aisladas. Los resultados permiten determinar a posteriori sus prestaciones, aplicando estándares. Los resultados indican la conveniencia de un aislamiento térmico más efectivo. Esta tecnología pudiera desempeñar un papel importante en el desarrollo sustentable.

Referencias

- 1.- A. Lecuona-Neumann, *Cocinas solares. Fundamentos y aplicaciones. Herramientas de lucha contra la pobreza energética*, Barcelona: Marcombo, 2017
- 2.- J. Boubour, A. Lecuona-Neumann. "Photovoltaic Solar Cooking with PTC Ceramic Heaters Without Batteries". CONSOLFOOD 2023 – International Conference on Advances in Solar Thermal Food Processing. A Coruña-Spain, 12-14 July 2023.
- 3.- J. Boubour. "Cuisson Solaire Photovoltaïque". photovoltaic-solar-cooking.org. Accessed 1 August 2023. BREST (Finistère) France. jean@boubour.fr.







20 Comparación financiera entre una cocina solar de reflector parabólico focal y una estufa eléctrica de inducción para la cocción de proteína para consumo humano

Cristóbal Calderón Guzmán ^a

^a *Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara. Tonalá, Jalisco, México.*

Resumen

En este análisis financiero comparativo, entre dos tipos de tecnologías usadas para la cocción de carne, se evaluó el costo total por consumo de proteína (pollo y pescado) de 4 personas durante 30 días, la inversión necesaria por tipo de estufa, los costos de producción para consumo de proteína para 4 personas, además se calculó la eficiencia máxima alcanzada por cada equipo, a su vez esta información fue contrastada con el ingreso corriente de una familia mexicana para descubrir el impacto presupuestal familiar que tiene el consumir proteína de este tipo y siendo cocinada de dos formas diferentes.

Palabras clave: proteína; análisis financiero, cocina solar.

Introducción

El camino a la descarbonización está repleto de obstáculos, siendo el factor económico el principal problema a resolver cuando comparamos nuevas tecnologías verdes con tecnologías convencionales, la resistencia al cambio hacia tecnologías más verdes está ligado a sus costos, el ejemplo más claro es el avance del precio de los paneles solares y su precio de producción de energía [1].

La penetración en los mercados por parte de los paneles solares está directamente relacionada con sus costos, esto último se debería de tomar como ejemplo al momento de diseñar o proponer nuevas tecnologías, por lo tanto, realizar análisis financieros de nuevas tecnologías es necesario para identificar ventajas, desventajas y/o puntos a mejorar.

Es por esto último que en este proyecto se analizó financieramente el uso de una



cocina solar para la cocción de proteína para consumo humano, para que con la información resultante se puedan identificar ventajas, desventajas o puntos a mejorar en el uso de una cocina solar.

Objetivo General

Realizar un análisis comparativo financiero entre el uso de una cocina solar parabólica focal y una estufa eléctrica de inducción.

Objetivos Específicos

- Obtener los costos por cocción de proteína utilizando una cocina solar parabólica focal y una estufa eléctrica de inducción
- Describir el impacto económico en un hogar mexicano si cocina con una cocina solar parabólica focal o con una estufa eléctrica de inducción

Metodología

El proceso de elaboración de este estudio comparativo financiero se llevó a cabo en 5 pasos, los cuales son expuestos a continuación:

- (1) Selección de tipo tecnología para la cocción de carne:

Como primer equipo se escogió una cocina solar de reflector parabólico focal puesto que es un instrumento ligero para su transporte, no requiere de ningún combustible y funciona con base en radiación solar, cuenta con un área de reflexión de 1.5 m², una altura de funcionamiento de 1 metro. El segundo equipo es una estufa de inducción con una potencia de 700 Watts, la cual necesita de un suministro de energía eléctrica para funcionar. En la estufa solar se utilizó un sartén de 24 cm² de diámetro y para la estufa de inducción se utilizó un sartén de 20 cm², el tamaño de los sartenes se cambió para aprovechar mejor la reflexión de la radiación solar y para optimizar la superficie de contacto en la estufa de inducción.

- (2) Cocción de carne con sus respectivas mediciones de variables a estudiar:

En la selección de carne se optó por dos tipos de carne, pollo (100gr) y pescado (127gr). El pollo no alcanzó una cocción completa debido a las condiciones climatológicas no fueron favorables, por el otro lado, el pescado alcanzó su cocción en 15 minutos.

- (3) Captura y transformación de datos obtenidos:



Mientras se estaba realizando la cocción del pollo en la estufa solar se obtuvieron las siguientes mediciones máximas alcanzadas: la radiación máxima alcanzada fue de 780 W/m², la humedad relativa ambiental máxima fue de 48.5%, la temperatura ambiental máxima fue de 33.5 °C, la velocidad máxima del viento fue de 1.6 m/s, la máxima temperatura alcanzada por la carne fue de 33.5 °C, el tiempo de cocción fue de una hora con dieciséis minutos. Por el lado de la estufa de inducción, la carne de pescado se cocinó en 15 minutos, aquí solo se registró la temperatura de la carne, cuyo promedio fue de 87.36°C.

(4) Investigación financiera:

En esta parte simplemente a través de una investigación en internet se buscó el precio de cada insumo y equipo necesario para llevar a cabo la cocción de la proteína, además del ingreso promedio de una familia mexicana.

Inversión para estufa solar		
Precio de estufa solar	3960.67	MXN
Precio de sartén	557.42	MXN
Total	4518.09	MXN

Costos de producción en estufa solar, 1 persona		
Precio de 100 gr de pechuga de pollo	17.9	MXN
Total	17.9	MXN

Inversión Inicial estufa de inducción		
Precio parrilla eléctrica 700W	233	MXN
Precio de sartén	557.42	MXN
Total	790.42	MXN

Costos de producción en estufa de inducción, 1 persona		
Precio promedio por filete de 145 gr	17.255	MXN
Precio promedio por 30 cm de aluminio	1.38	MXN
Precio para cocinar un filete de 145 gr	0.176226	MXN
Total	18.81123	MXN

Según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022 [2] el ingreso promedio corriente mensual de familia mexicana es de 21,231.66 pesos mexicanos.

(5) Recopilación y sinterización de información:

Para finalizar en esta parte, se realizó el análisis de costos, así como el balance energético de cada estufa para poder sus eficiencias.



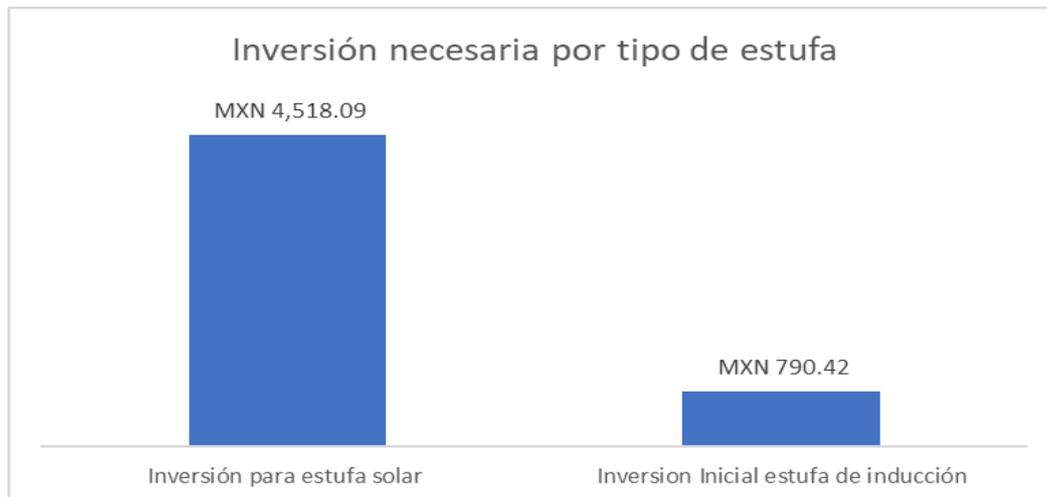
Costos de producción en estufa solar, 4 personas	71.6	MXN
Costos de producción en estufa solar para 4 personas en 30 días	2148	MXN

Costo total por consumo de pollo de 4 personas usando una estufa solar durante 30 días	2148	MXN
--	------	-----

Costos de producción en estufa de inducción, 4 personas	75.24491	MXN
Costos de producción en estufa de inducción para 4 personas en 30 días	2257.347	MXN

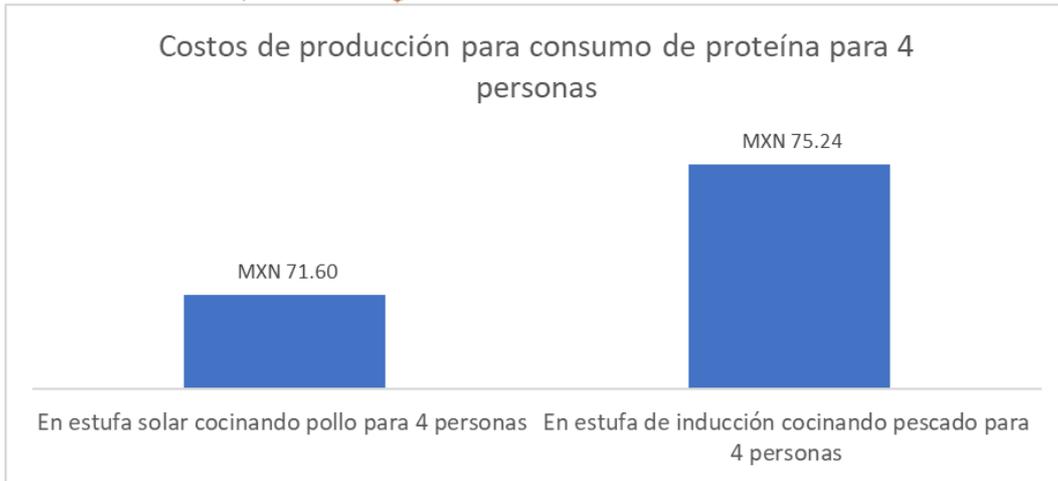
Costo total por consumo de pescado de 4 personas usando una estufa de inducción durante 30 días	2257.347	MXN
---	----------	-----

Resultados



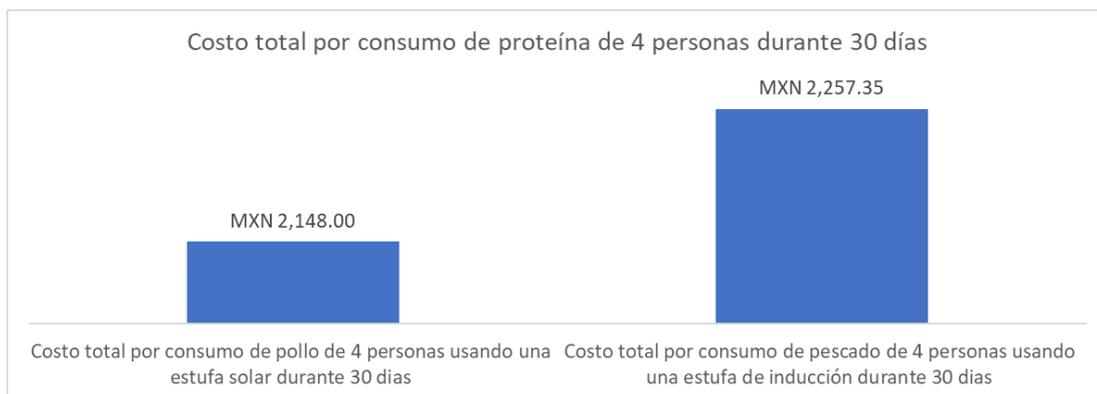
Gráfica 1: comparación de precios por tipo de estufa

La Gráfica 1 muestra la diferencia de costos por inversión, siendo la estufa solar significativamente más cara que la inversión necesaria para la estufa de inducción, esta comparativa solo tomo en cuenta el costo de los equipos de cocción, no se tomó en cuenta el costo por instalación eléctrica.



Gráfica 2: comparación de los costos para consumo de proteína para 4 personas

Por el lado de los costos de producción, se muestran en la Gráfica 2, particularmente en esta gráfica el cocinar en una estufa de inducción es más caro que el hacerlo con una estufa solar, la diferencia recae principalmente por el costo de la electricidad y el uso de aluminio que se necesitó para cocinar el pescado. Sin embargo, la diferencia no es tan significativa como lo fue en la Inversión.



Gráfica 3: comparación del costo total por consumo de proteína de 4 personas durante 30 días

Esta última gráfica, Gráfica 3, nos muestra un panorama más amplio, los costos totales por consumo de proteína de 4 personas durante 30 días, esta gráfica se elaboró para poder dimensionar el gasto que haría una familia en la cocción de proteína para su propia alimentación, siendo la cocción con estufa solar la más cara.

Conclusión

Con este análisis podemos decir que es posible un ahorro económico a través de la cocción solar de proteína, sin embargo, si lo comparamos con el este ahorro de 109.34 pesos mexicanos con el ingreso promedio corriente de una familia mexicana que es de 21,231.66 pesos mexicanos podemos decir que solo hay un ahorro del 0.52% en el ingreso de una familia mexicana, por lo tanto, aunque es un ahorro no llega a ser



significativo, además hay que tomar en cuenta que el uso de la estufa solar está condicionada a las condiciones climatológicas.

Referencias

- [1] Max Roser, "Why did renewables become so cheap so fast?", OurWorldInData.org, <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth> (Consultado 14 oct., 2023)
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, "Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022", Subsistema de Información Demográfica y Social, <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/> (Consultado 14 oct., 2023).





21 Deshidratador solar térmico.

Autores:

Arana Martínez Fabián.

Delgadillo Ocampo Paulo Cesar.

Pacheco Gaitán Iván de Jesús.

Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.

* fabian.arana4772@alumnos.udg.mx

Resumen

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar el aire y así retirar el agua de los tejidos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas entre otros. La energía proveniente del sol llega como radiación, las paredes del colector se calientan por conducción, el aire fresco que entra se calienta y circula hacia el área de secado por un proceso de convección. El agua contenida en los productos se evapora y sale por la parte superior del área de secado. Finalmente, el aire cargado de humedad sale por el área de evacuación y se disipa en el ambiente. El proceso constante de convección conlleva al secado de los frutos en lapsos de tiempo que dependen de las condiciones climáticas del día y el sitio donde se encuentre funcionando el deshidratador. Los deshidratadores solares son una alternativa sostenible y de bajo costo para la conservación de alimentos y se utilizan en muchas regiones del mundo donde la electricidad es limitada o costosa.

Palabras clave: Energía, Alimentos, Radiación, Secado.

Un deshidratador solar es un sistema que permite aprovechar la radiación solar para eliminar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera, con resultados en calidad similares e incluso superiores a los obtenidos mediante el secado natural; además, el proceso se lleva a cabo en menor tiempo y en óptimas condiciones de higiene.

La diferencia entre un deshidratador convencional y uno solar es el gasto que representan la energía y el combustible para hacerlos funcionar. Los sistemas de deshidratación solar pueden ahorrar hasta el 100% del uso de combustibles como gas LP, diesel, gasolina y/o energía eléctrica convencional, volviéndose una alternativa sustentable y económica para el proceso de deshidratación.



Objetivos.

General.

Caracterizar el comportamiento del dispositivo con respecto al recurso solar disponible.

Específicos.

- Analizar el recurso solar del dispositivo.
- Caracterizar el comportamiento térmico del dispositivo con base al producto.
- Analizar los parámetros meteorológicos que afecten el comportamiento del dispositivo, (viento, humedad ambiental, radiación solar, etc.).
- Demostrar que es sencillo y sustentable la deshidratación de alimentos desde casa.

Metodología.

Determinamos que un deshidratador solar de este tipo es una herramienta útil y sencilla de diseñar, comenzamos haciendo un boceto de este en nuestro cuaderno, posteriormente, conseguimos los materiales requeridos para elaborarlo, nos reunimos en una casa y en alrededor de 8 horas concluimos este proyecto.

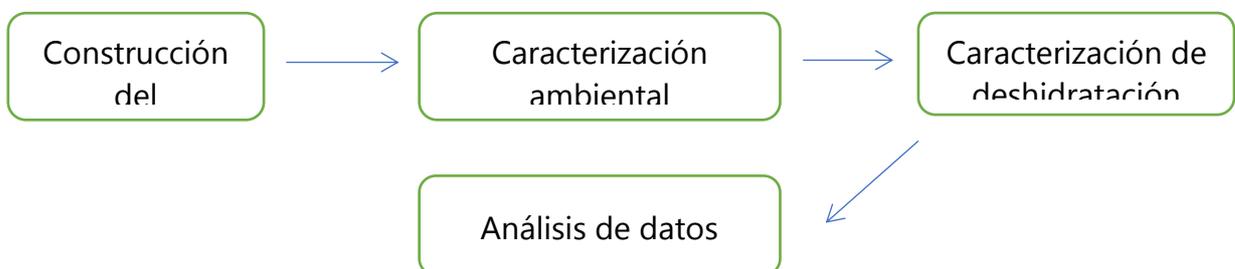




Ilustración 1 Proceso y caracterización del dispositivo

Una vez realizado el experimento se realizaron mediciones bajo un día soleado, a hacer mediciones



vez realizado el experimento se realizaron mediciones bajo un día soleado, a hacer mediciones

de velocidad del viento, radiación, temperatura ambiental e interna en la cámara, además de hacer una comparación de peso inicial de nuestras rodajas con respecto al peso final de estas mismas, a continuación los instrumentos de medición utilizados.

Nombre del instrumento	Imagen	Función
Báscula gramera		Pesar las rodajas antes y después de ser sometidas a deshidratación
Solarímetro		Para medir radiación solar, con unidad de medida W/m2



Anemómetro		Medir la velocidad o rapidez del flujo de aire.
Cámara térmica portátil		Medir la temperatura y ofrecer imagen térmica de los objetos a partir de las emisiones de radiación infrarroja de estos.
Medidor digital de humedad y temperatura		Calcular el contenido de humedad en el aire y a su vez la temperatura ambiental.
Termómetro ambiental digital		Medir temperatura del aire dentro de la cámara de deshidratación.

Una vez analizados los datos y registrados, se elaboraron gráficas para analizar, comparar y mostrar los resultados obtenidos que se muestran a continuación.

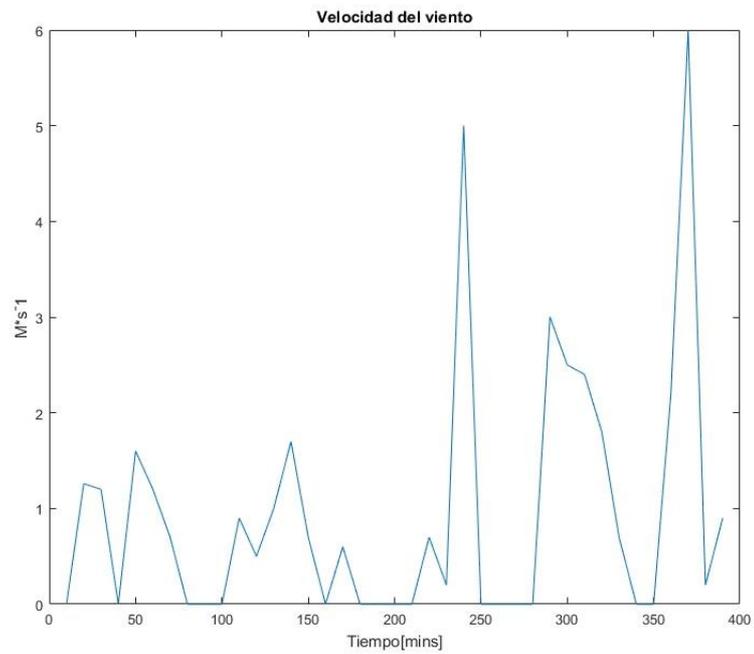


Ilustración 2 Velocidad del viento durante la deshidratación del alimento. Elaboración propia

Durante la deshidratación del alimento, se utilizó corrientes de aire controladas para acelerar el proceso de secado. El aire en movimiento ayuda a eliminar la humedad de la superficie de los alimentos, permitiendo una deshidratación más rápida y uniforme. La velocidad del viento se ajusta de acuerdo con el tipo de alimento y el método de deshidratación utilizado, para garantizar un proceso eficiente y controlado.

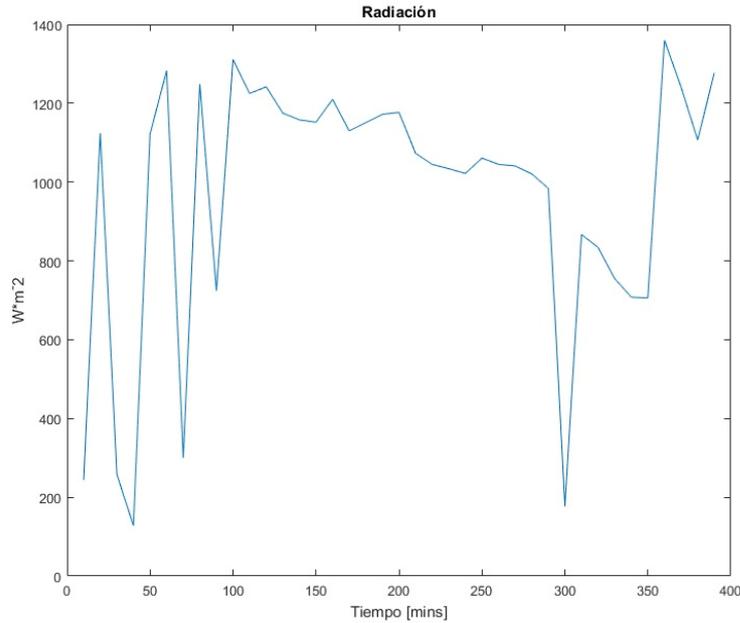


Ilustración 3 Representación solar representada durante la caracterización del alimento. Elaboración propia

En la gráfica, vemos un aumento gradual de la temperatura a medida que la radiación incide en el alimento, lo que conduce a una evaporación más rápida de la humedad y, en consecuencia, a una disminución en el contenido de agua del alimento a lo largo del tiempo.

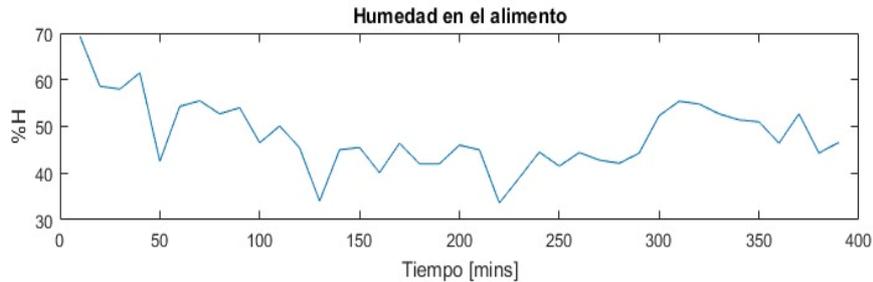


Ilustración 4 Representación de la humedad del viento durante la caracterización. Elaboración propia

La gráfica de humedad mostrada una disminución gradual en el contenido de agua del alimento a lo largo del tiempo. Inicialmente, la curva de humedad disminuiría de manera más pronunciada debido a la evaporación rápida, y luego se estabilizaría a medida que la deshidratación progresa y la humedad restante se elimina más lentamente. Este proceso dependerá del tipo de alimento y del método de deshidratación utilizado.

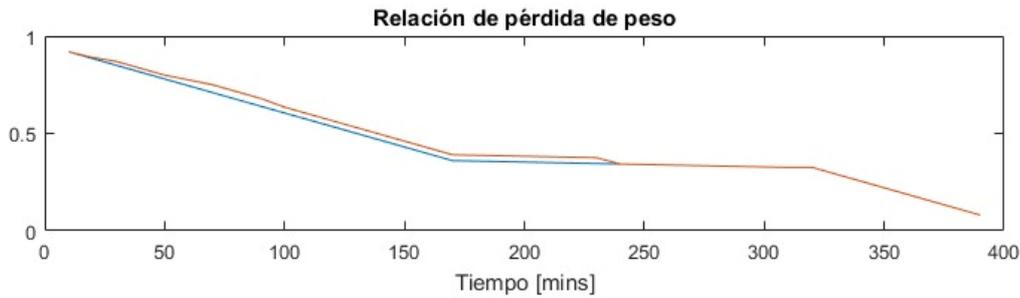


Ilustración 5 Pérdida de peso del alimento. Elaboración propia

Además de la pérdida de peso del alimento, la gráfica podría también mostrar una disminución constante en la curva de pérdida de peso a lo largo del tiempo, indicando la eliminación gradual de la humedad. La inclinación de la curva podría variar dependiendo del tipo de alimento, su composición y la eficiencia del proceso de deshidratación utilizado. Este proceso suele representar la disminución progresiva en la cantidad de agua presente en el alimento durante el proceso de deshidratación.

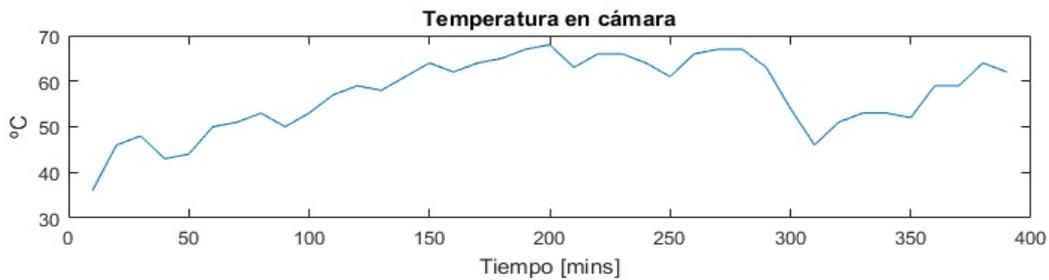


Ilustración 6 Temperatura de la cámara durante la caracterización. Elaboración propia

La representación gráfica de la cámara del deshidratador durante la deshidratación del alimento mostraría la variación de la temperatura y la humedad relativa dentro de la cámara a lo largo del tiempo. Podrías observar cómo la temperatura y la humedad relativa se controlan y ajustan para crear condiciones óptimas de deshidratación, lo que garantiza un proceso eficiente y una calidad constante del producto final.

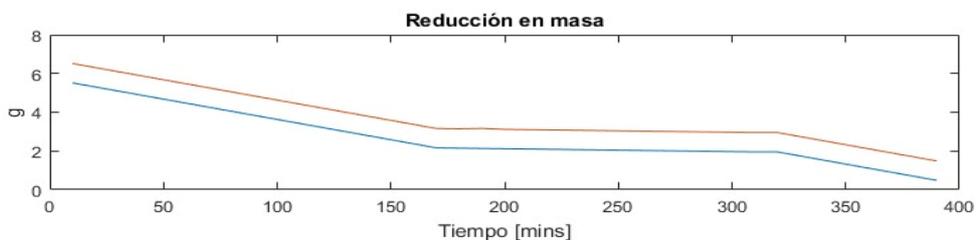


Ilustración 7 Reducción de la masa del alimento. Elaboración propia

En la gráfica, se podría observar la relación entre la reducción de masa del alimento y el tiempo transcurrido durante la deshidratación, lo que revelaría



cómo la pérdida de agua afecta directamente a la masa total del producto. Dependiendo de la eficiencia del proceso y la composición del alimento, la curva podría mostrar una disminución gradual o fluctuaciones temporales antes de estabilizarse hacia el final del proceso de deshidratación.

Transición energética en México.

En la actualidad, los usos térmicos dominan la demanda energética de dos de los principales sectores de consumo de energía en el país: el residencial y el industrial, cuyos valores de consumo de calor representaron el 72 % y el 67 %, respectivamente. La demanda de calor en el sector residencial es principalmente para cocinar alimentos (73 %) y calentar agua para uso sanitario (27 %); para ello, predomina el uso de leña y gas licuado del petróleo. En el sector industrial, la mayor parte de la energía térmica se usa en procesos de baja y mediana temperatura (menor de 400 °C), con una gran participación del gas natural y otros derivados del petróleo. El análisis de esta información es relevante, pues la demanda de calor se cubre casi en su totalidad con combustibles fósiles —gas natural, combustóleo, carbón y coque— y electricidad, lo cual representa emisiones de gases de efecto invernadero (gei) y gastos de operación considerables.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015), las emisiones directas de gei por la quema de combustibles fósiles en el sector industrial ascendieron a 92.5 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), correspondiente al 14 % de las emisiones totales del país. Esto demuestra la necesidad de buscar alternativas de sustitución tecnológica o de combustibles para descarbonizar el sector; para ello, la energía solar y la biomasa son promisorias.

Conclusión

En resumen, el recurso solar en México se puede aprovechar de manera efectiva y sostenible a través de la utilización de deshidratadores solares para la deshidratación de alimentos. Esta alternativa muestra ser altamente eficiente y económicamente favorable, y contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono.

Con la elaboración de este proyecto demostramos que es sencillo elaborar en casa un dispositivo deshidratador solar de alimentos, sabiendo que se gasta muy poco y utilizamos energía renovable en el proceso de deshidratación de nuestros alimentos favoreciendo la transición energética en México.

Se recomienda la adopción de esta tecnología en el sector de la alimentación como parte de los esfuerzos por promover la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente en México.

Bibliografía



- *Iris Santos González, Raúl Tauro. (7 junio 2023). Energía solar y biomasa como fuentes de calor verde. [PDF]. [07 Ciencias y Humanidades.pdf \(conahcyt.mx\)](#)*
- *CONAHCYT. (7 junio 2023). Ciencias y Humanidades. [PDF]. [07 Ciencias y Humanidades.pdf \(conahcyt.mx\)](#)*
- *Prakash, O. & Kumar, A. (2020). Solar drying systems.*





22 Análisis paramétrico de un secador solar de bagazo de agave tequilero

Diana Laura Camargo Sierra^{a*}, Raúl Román Aguilar^a, Wendy Montserrath Delgadillo Ávila^a, Pablo Antonio López Pérez^a y Julio Valle Hernández^a

^a *Licenciatura en Ingeniería en Tecnología del Frío, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Apan. Carretera Apan – Calpulalpan, Km. 8, Colonia Chimalpa Tlalayote, Apan, Hidalgo; C.P. 43900*

Autor de correspondencia: ca352587@uaeh.edu.mx

Resumen

El secado es un importante método de conservación de alimentos, ya que, al disminuir la humedad de un producto se impide el crecimiento microbiano, retarda o inhibe las reacciones enzimáticas y procesos metabólicos, alargando su vida útil y conservando su calidad nutricional. Este proceso se puede llevar a cabo utilizando distintas fuentes de energía para obtener el calor requerido, como, la energía solar. En México, la industria tequilera tiene una alta demanda en la producción del tequila, sin embargo, esto también genera grandes cantidades de residuos como el bagazo de agave, comúnmente desechado al exterior, lo que genera focos de infección y contaminación. Debido a esto, se ha buscado aprovechar este residuo, como en biomateriales. Por ello, el presente trabajo propone el análisis paramétrico de un secador solar indirecto para bagazo de agave tequilero, lo cual permitirá generar diseños óptimos para un producto y condiciones específicas. El análisis involucra el dimensionamiento y balance energético del sistema, considerando 15.4 kg de producto con humedad inicial de 60 % y humedad final del 12 %, así mismo, se propuso un área de 1.4 m² para el colector. La variación paramétrica se realizó sobre la temperatura ambiente, humedad relativa, insolación y velocidad del viento de acuerdo a las condiciones climatológicas de la región de Apan, Hidalgo.



Los resultados muestran los factores que más contribuyen al proceso de secado y generan los mejores rendimientos del sistema, lo cual permite aprovechar de mejor manera los recursos disponibles del lugar y determinar la capacidad de secado del equipo.

Palabras clave: secado solar; análisis paramétrico; bagazo de agave.

Introducción

El secado solar es un método de conservación de alimentos utilizado por agricultores y diversos sectores para la preservación de semillas, cultivos y otros productos como el bagazo. Sin embargo, se presentan limitantes como las pérdidas por un mal secado; contaminación por hongos; plagas de roedores, aves e insectos; dando como resultado una mala calidad en el producto, largos periodos de secado y muchas horas de trabajo perdidas. Este tipo de secado, surge de la necesidad de generar procesos sostenibles que permitan una desvinculación con los combustibles fósiles [1], a través del uso de fuentes de energía alternativa como la energía solar.

Al disminuir la humedad de un producto como vegetales o frutas, se logra alargar su vida útil, manteniendo sus vitaminas, carotenos, ácido ascórbico, minerales y fibra [2], de igual manera, facilita la vía al productor de manejar los subproductos para su posterior uso o aprovechamiento.

El bagazo de agave es un subproducto de las piñas cocidas en la producción de mezcal, se estima que anualmente se obtienen cerca de 360 mil toneladas de bagazo [3], sin embargo, en 2017, la industria del tequila y el mezcal produjo 2 millones de toneladas de este subproducto [4]; dichas cantidades hacen que su manejo sea ineficiente y terminen en una inadecuada distribución. Una forma de aprovechar este subproducto, es a través de su transformación en biomateriales mediante un previo secado.

Atendiendo a la industria en mención, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis paramétrico de un secador solar indirecto para bagazo de agave tequilero, lo cual permitirá generar diseños óptimos para un producto y condiciones específicas.



Metodología

El inicio de este trabajo parte de considerar 15.4 kg de bagazo de agave, con una humedad del 60 %, teniendo como meta alcanzar una humedad final del 12 %, en un tiempo de 10 horas.

Con la carta psicométrica se obtuvo la humedad específica (W) y la entalpía del aire de entrada, a partir de las temperaturas propuestas de 12, 16.75, 21.5 y 29.48 °C y humedades relativas (HR) de 45.12, 56.27, 67.42 y 83.56 %, considerando las condiciones climatológicas de la región de Apan, Hidalgo [5]. Se propone una temperatura de secado de 45 °C y una humedad relativa del 11 %.

La cantidad de aire de secado (m_{As}) necesaria para retirar el vapor de agua del bagazo de agave se obtuvo relacionando la tasa de evaporización del agua (Δx) y el poder de vaporización (W) mediante la ecuación (1).

$$mV_{As} = \frac{\Delta x \left(\frac{g_{H_2O}}{s} \right)}{W \left(\frac{g_{H_2O}}{kg_{As}} \right)} \quad (1)$$

La energía (Q) necesaria para secar el bagazo en las cantidades indicadas, se determina con el flujo de aire de secado (m_{As}) y las entalpías del aire de salida (H_2) y aire de entrada (H_1) mediante la ecuación (2).

$$Q = m_{As} * (H_2 - H_1) \quad (2)$$

Se proponen velocidades del viento (V) de 1.06, 1.29, 1.42 y 1.77 m/s de acuerdo a las condiciones climatológicas de la región de Apan, Hidalgo [5]. De igual manera, se propone la temperatura media de la placa y la temperatura media del fluido.

Para determinar los parámetros de funcionamiento del colector solar se proponen; largo: 1.4 m; ancho: 1 m; alto entrada: 0.2 m; área del colector: 1.4 m²; emitancia de la placa: 0.95; emitancia de la cubierta: 0.88; inclinación del colector: 20°; conductividad térmica del aislante: 0.04 W/mK; espesor del aislante del fondo: 0.05 m y espesor del aislante lateral: 0.03 m.

Para calcular la temperatura de salida (T_s) del aire del colector se utiliza la temperatura ambiente (T_a), el calor útil (Q_{util}), el flujo de aire de secado (m_a) y el calor específico del aire (Cpa) utilizando la ecuación (3):

$$T_s = T_a + \frac{Q_{util}}{m_a * Cpa} \quad (3)$$



La eficiencia instantánea (η) depende del calor útil (Q_{util}), área del colector (AC) y la radiación (IT), para los cálculos se consideraron irradiancias de 4790, 5340, 6440 y 6840 W de acuerdo a las condiciones climatológicas de la región de Apan, Hidalgo [5].

$$\eta = \frac{Q_{util}}{IT * AC} \quad (4)$$

El proceso para obtener los parámetros de funcionamiento del colector se muestra en la Figura 1. Mientras que en la Figura 2 se presenta el diseño y del secador solar.

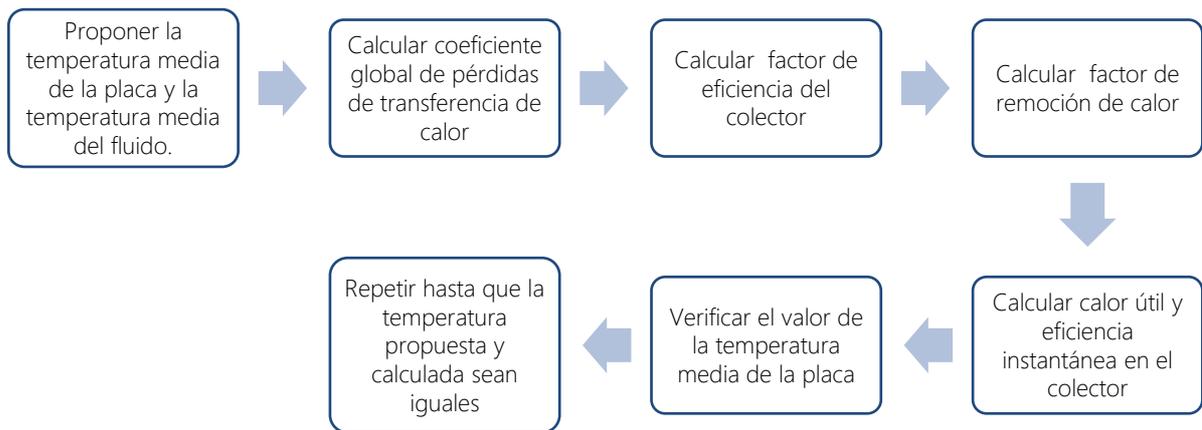


Figura 1. Diagrama para los parámetros de funcionamiento del colector. [6]

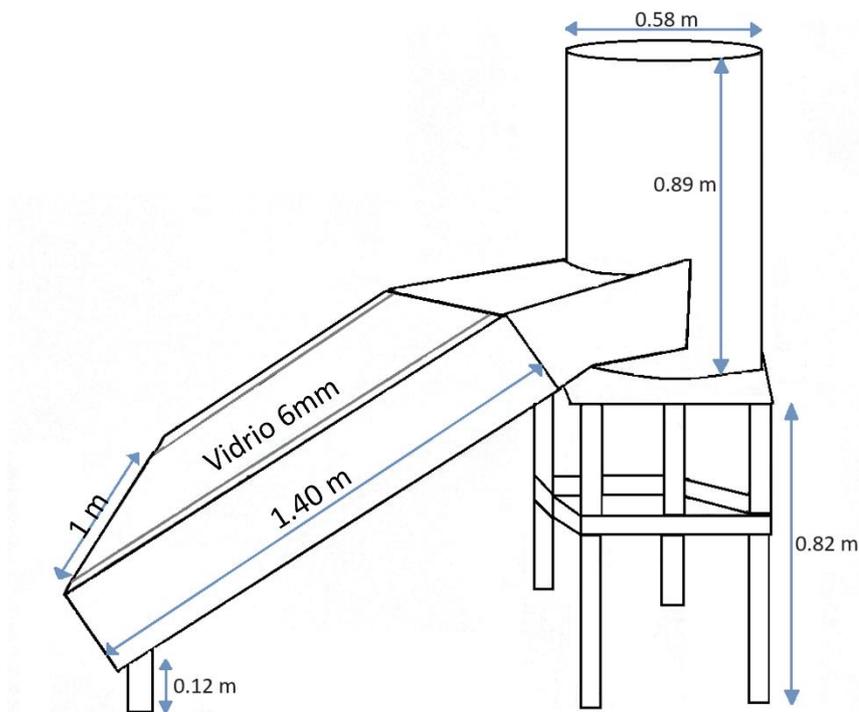


Figura 2. Diseño del secador solar.



Resultados

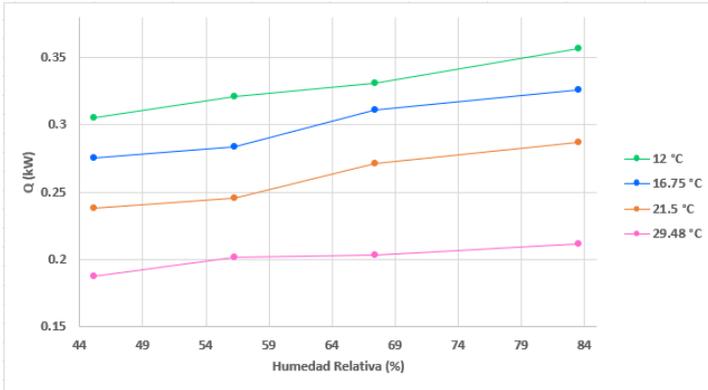


Figura 3. Q vs HR para diferentes T_a .

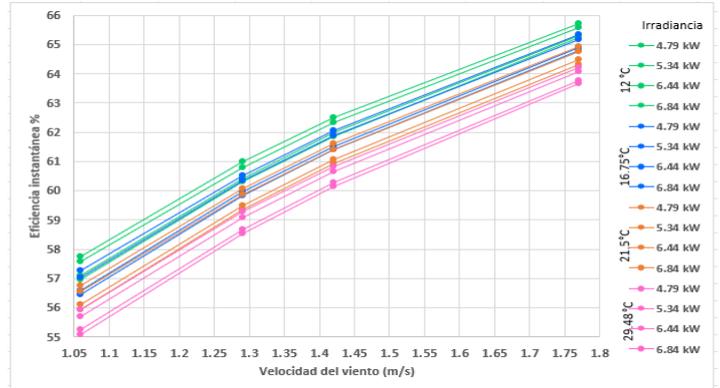


Figura 4. η vs V para diferentes T_a e irradiancias

En la Figura 3, se muestran los resultados del calor necesario para secar (Q) contra la humedad relativa (HR), variando la temperatura de entrada del aire. Mientras que en la Figura 4, se exponen los resultados de la eficiencia instantánea del colector contra la velocidad del viento (V), variando las temperaturas de entrada del aire y las irradiancias.

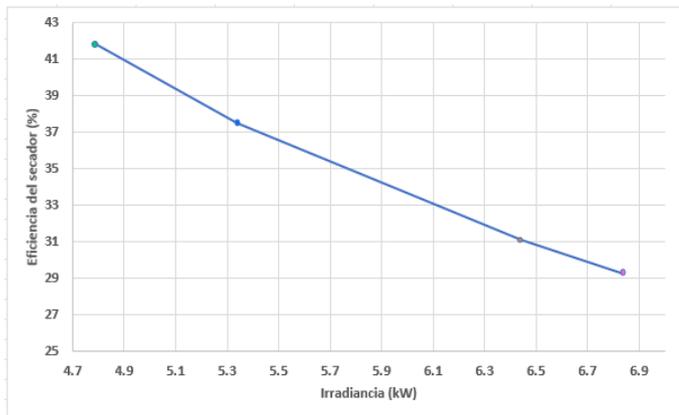


Figura 5. η del secador vs Irradiancia

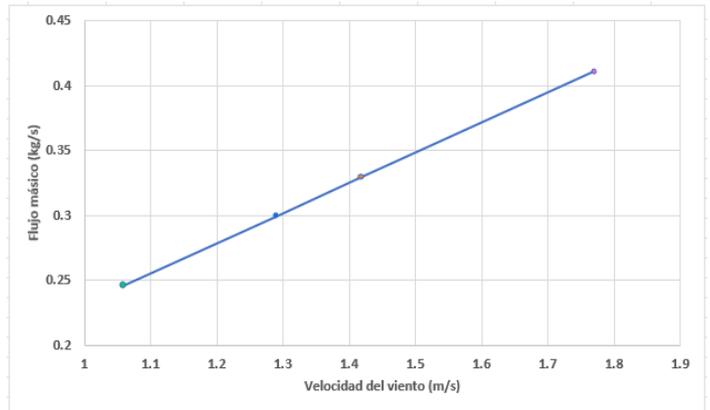


Figura 6. m_a vs V

En la figura 5, se muestran los resultados de la eficiencia del secador solar contra la Irradiancia. En la Figura 6, exponen los resultados del flujo másico (m_a) del aire de secado contra la velocidad del aire (V).

Conclusiones

La mayor cantidad de energía para el secado de 15.4 kg de bagazo de agave es de 0.35 kW con aire de entrada a 12 °C con humedad relativa de 86%, mientras que la menor energía necesaria para el secado es de 0.18 kW con aire de entrada a 29.48 °C y 45 % de humedad relativa.



La mayor eficiencia instantánea del colector se obtiene de 65.7 % al utilizar aire de entrada a 12 °C, a una velocidad de 1.77 m/s y con irradiancia de 4.79 kW, mientras que la menor eficiencia fue de 55 % con aire de entrada a 29 °C, a una velocidad de 1.06 m/s y con irradiancia de 6.84 kW.

La eficiencia del secador solar, depende principalmente de la irradiancia, de esta manera, obtenemos la mayor eficiencia al utilizar 4.79 kW, lo que coincide con el resultado obtenido para la eficiencia del colector.

El flujo másico de aire necesario para el secado del bagazo de agave, depende de la velocidad del aire, por lo que obtenemos la mayor cantidad necesaria al utilizar 1.77 m/s y la mínima con 1.06 m/s.

El presente trabajo permite conocer los factores que más contribuyen al proceso de secado y generan los mejores rendimientos del sistema, aprovechando los recursos disponibles del lugar.

Referencias

- [1] Y. Rodríguez Gago y Y. Morejón Mesa, "Diseño y simulación de un secador solar para semillas botánicas de pastos y forrajes", Rev. Cienc. Tec. Agropecu., vol. 29, n.º 1, 2020, art. n.º 2071-0054.
- [2] J. León, E. Torres, A. Lozano, y D. Rueda, (2018). "Simulación del comportamiento térmico y fluido- dinámico de un secador híbrido para manzanas". VIII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica y VI de Materiales, Energía y Medio Ambiente, Medellín, Colombia, 2017.
- [3] E. Sierra, J. Alcaraz, A. Valdivia, A. Rosas, M. Hernández, E. Vivaldo, y A. Martínez, "Bagazo de agave: de desecho agroindustrial a materia prima en las biorrefinerías". Ciencia UNAM. Accedido el 23 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: [https://ciencia.unam.mx/leer/1112/bagazo-de-agave-de-desecho-agroindustrial-a-materia-prima-en-las-biorrefinerias-](https://ciencia.unam.mx/leer/1112/bagazo-de-agave-de-desecho-agroindustrial-a-materia-prima-en-las-biorrefinerias)
- [4] E. Hernández Hernández y F. Soriano Corral. "Fibra de Agave y Plásticos. Una pareja versátil y prometedora para diversas aplicaciones". Centro de Investigación en Química Aplicada. Accedido el 23 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://ciqa.mx/FibraAgavePla.aspx>
- [5] NASA. Prediction of Worldwide Energy Resource. Accedido el 23 de marzo de 2023 [En línea]. Disponible: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [6] G. L. Roa Marín y D. B. Ortega Torres. "Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja.", Tesis de Ingeniería, Univ. Nac. Loja, Loja, 2012.







23 Development of a mobile device using solar thermal and PV for vegetable dehydration

João Garcia^{a,b} *, Celestino Ruivo^{c,d}, João Pássaro^b

^a *Lisbon Superior Institute of Engineering, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal*

^b *CINEA-IPS, Energy and Environment Research Centre, IPS Campus, Estefanilha, 2760-761 Setúbal, Portugal*

^c *Department of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, University of Algarve, Campus da Penha, 8005-139 Faro, Portugal*

^d *ADAI Department of Mechanical Engineering, Rua Luís Reis Santos, Pólo II, 3030-788 Coimbra, Portugal*

Abstract

This article describes the development of a solar vegetable dehydrator modular, portable, low-energy consumption and low-cost equipment, using solar thermal energy and solar photovoltaic electricity that can operate even under not so favourable weather conditions. The purpose of this equipment, currently in the prototype phase, is for processing small amounts of farm products and reducing the product waste. Fruits that would not be viable for sale can be dehydrated and subsequently sold as dried fruit. This process contributes to the sustainability of small-scale agricultural producer's activity. For optimization of the dehydration process is essential to process products in a suitable period of time with high energy efficiency and low cost and at same time improve the product quality with good flavour and aroma. Active control of supply air into the dehydration chamber and air circulation velocity is achieved, optimizing the dehydration process by measuring the ambient temperature and relative humidity at the inlet and outlet air, allowing at any time through the mixing control of fresh air and recirculated air flows to adjust the operating conditions. The equipment consists of a mobile device, easily moved and placed in the position that best suits the dehydration process at each instant, increasing the efficiency of operation and considering the local conditions. With the development and implementation of this equipment, it was found that it was



possible to utilize damaged and unfit fruit for commercial purposes. After product being sliced thinly and dehydrated, it was sold, enabling economic valorisation of the activity and consequently promoting its sustainability.

Key words: Solar Energy, Sustainability, Solar Dehydrator, Farm Products

Introduction

Dehydration is an uncomplicated and cost-effective method of preserving food. It involves extracting sufficient moisture from the food to enable long-term preservation [1]. The control of three critical operating parameters contribute to the success of food dehydration: temperature, relative humidity, and air velocity. The temperature must be carefully regulated to ensure that moisture is removed without the risk of over drying the food. Maintaining low relative air humidity is essential to facilitate the absorption of released water from the food. Appropriate fresh airflow rate ensures the removal of water vapour from the dehydration chamber. Food can be dehydrated through various means, including solar radiation, an oven, or an electric dehydrator, with a focus on maintaining the right temperature, humidity, and air velocity for the specific food type. Distinct temperature ranges for dehydration based on the type of horticultural products, are typically 35 °C for herbs, 52 °C for vegetables and 57 °C for fruits [2]. Air velocity alone doesn't wield sole influence over the dehydration process. Several studies have pointed out that speeds of up to 1.5 m/s are suitable during this procedure [3]. Nevertheless, the moisture content and the temperature of air within the dehydration chamber exhibit a direct correlation with airflow rate [4]. Thus, having the ability to regulate airflow rate stands as a considerable advantage in such scenarios.

The developed device

Conceptualization

The developed prototype is a horticultural solar dehydrator, utilizing both solar thermal and photovoltaic energy sources. It is a cost-effective, modular, and portable system, energy-efficient, affordable, and mobile solution designed to operate exclusively on renewable energy sources, specifically solar thermal and photovoltaic, making it independent of weather conditions. Nevertheless, under exceptional circumstances, it can also function using conventional electric power. As mentioned previously, the effective dehydration process hinges on controlling three key factors: Temperature (T in °C), Relative Humidity (RH in %), and Air Velocity (V in m/s) [5]. In this regard, this device possesses the capability to regulate these three parameters,

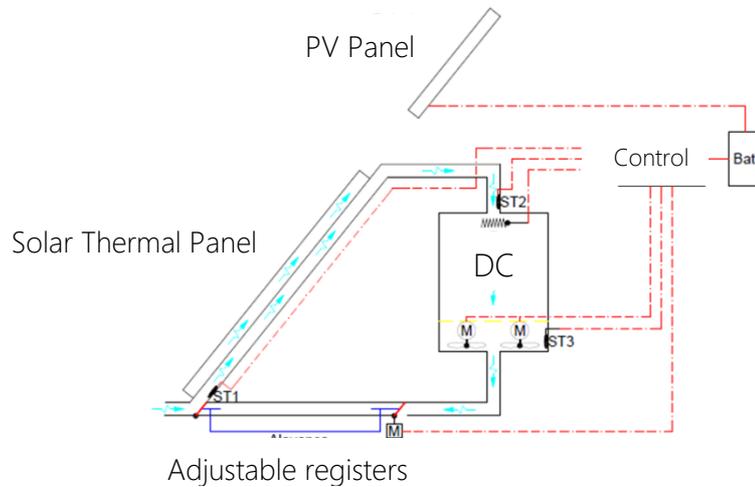


actively managing two parameters (temperature and air velocity) and indirectly affecting the third (relative humidity).

Components

The dehydrator consists of modular components, including a solar thermal panel, a photovoltaic solar panel, a dehydration chamber, an electric resistance, air circulation fans, motorized air damper actuators/valves, temperature and humidity probes, and a control system that ensures the system operates under specified conditions. Figure 1 shows the working principle with all described components.

Figure 1. Dehydrator working principle



Here's a brief description of the functions of these components:

Solar Thermal Panel: This custom-built panel serves to heat the air within the dehydration chamber, provided that weather conditions permit. It plays a crucial role in the drying process by maintaining the desired air temperature.

Photovoltaic Panel (PV): PV is responsible for charging the batteries that power various support devices in the dehydrator, including the system controller, air circulation fans, electric resistance, and motorized actuators/valves.

Dehydration chamber: The dehydration chamber consists of multiple shelves where products are arranged for dehydration. Dry and heated air passes through these shelves, facilitating the dehydration of fruits and vegetables placed within.

PV-Fed electric resistance: This equipment functions as a backup heating source for the air within the dehydrator. When the air temperature falls below the set point, the electric resistance activates, heating the air as it circulates.



Air fans: These devices are variable-speed fans connected to the control system. Their primary role is to induce air circulation inside the dehydrator by adjusting the speed as needed for efficient drying.

Mixing module: This device is equipped with adjustable registers for variation of the fraction of fresh air in the supply airflow into the dehydrator chamber.

Temperature and relative humidity probes: Temperature and humidity probes continuously monitor the conditions within the dehydrator, enabling equipment to work together to maintain optimal dehydration conditions for the products.

Control module: Serving as the "brain" of the dehydrator, the control module performs a wide range of functions essential for controlling the dehydration process. It monitors and manages air inlet and outlet, temperature, relative humidity, and air velocity, ensuring an efficient product dehydration process.

Process overview

To ensure the utmost efficiency in the drying process, several variables must be controlled, including air temperature, relative humidity, air circulation speed within the equipment, and air registers. This control is facilitated by the system controller. This device drying approach involves directing heated air into the dehydration chamber, with the primary renewable energy source being the solar energy, resulting in substantial energy savings. Optimal equipment performance necessitates specific climatic conditions, such as elevated temperatures ($>60^{\circ}\text{C}$), moderate air velocity, and low relative humidity.

Food dehydration entails placing the products inside a closed chamber equipped with multiple shelves to facilitate proper air circulation. These conditions maintain low relative humidity, ensuring effective dehydration. This dehydrator is a hybrid system capable of utilizing renewable energy exclusively or, in less favourable weather conditions, conventional electricity. This dual capability guarantees the necessary conditions for the dehydration process.

A noteworthy innovation in this equipment is its utilization of either fresh air circulation or recirculated air based on current weather conditions. This adaptability is achieved through the positioning of actuators/motorized valves, optimizing the dehydrator's functionality. Furthermore, variable-speed fans contribute to achieving the ideal dehydration air velocity, aligned with user-defined objectives, whether that involves expediting dehydration for time optimization or slowing it down for enhanced taste and odour in the dehydrated product.



Performance tests and results

After the construction of the prototype, several tests were conducted on this equipment, and horticultural products were dehydrated using it. The dehydrated horticultural products have generally exhibited outstanding taste and consistency, with significantly reduced dehydration times compared to equivalent dehydration achieved using conventional electric equipment. Figure 2 shows the development of a performance test and Figure 3 shows some results for dehydrated eggplants produced.

Figure 2. Development of performance test



Several performance tests were implemented and conducted, considering various types of vegetables and varying atmospheric conditions (solar radiation, air temperature, air velocity, etc). An example of the results obtained is presented in Figure 3. Results for eggplant initial and final moisture content are shown in Figure 4.

Figure 3. Results for dehydrated eggplants tests (example)

Hour	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	H3 (%)	H4 (%)	Resistance	Type of air
11:00	31,3	60,3	49,4	35,7	-	-	on	Recirculation
11:15	31,4	61,6	50,8	36	-	-	off	Recirculation
11:25	32,6	61,3	52	36,8	-	-	off	Recirculation
11:35	35,6	60,4	52,5	39,9	-	-	off	Exterior
11:45	33,1	59,5	52,7	40,1	-	-	off	Exterior
11:55	35,6	63,2	54,8	42,7	-	-	off	Exterior
12:05	33,4	64,1	55,3	43,3	-	-	off	Exterior
12:15	30,9	62,6	52,8	43,4	-	-	off	Exterior
12:30	33,5	62,3	50,8	42,1	-	-	off	Exterior
12:45	34,4	62,6	48	38,2	-	-	off	Exterior
13:00	31,4	62,8	49,5	36,8	-	-	off	Exterior
13:30	32,6	62,2	50,1	37,7	12,3	33,5	off	Exterior
14:00	32,2	64,6	51,6	37,9	10,1	30	off	Exterior
14:30	34,6	62,4	52,7	38,6	9,1	28,7	off	Exterior
15:00	37,6	62,9	52,7	39,9	9,5	25,7	off	Exterior
16:00	39,6	63,7	52,7	41,8	8,9	22,6	off	Exterior
16:40	41,7	64,2	54,8	43,6	7	19,5	off	Exterior
17:00	41,7	65	56	43,5	5	16,9	off	Exterior
17:15	38,4	63,7	55,3	43	5,4	17,1	off	Exterior
17:30	37,2	62	54,7	42,2	5,4	17,9	off	Exterior



Figure 4. Results for the eggplant initial and final moisture content



Moisture content (%)	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Fresh	92,3	91,8	93,1	91,9	92,1
Dried	2,4	2,3	2,8	1,9	2,1

Conclusions

A horticultural dehydrator has been developed and introduced. This energy-efficient, cost-effective, modular, and portable dehydrator exclusively utilizes renewable energy sources, solar thermal and photovoltaic, enabling it to function independently of current weather conditions.

To optimize the dehydration process, it is crucial to enhance the following factors: time, product quality, energy efficiency, cost, and flavour/odour an efficient dehydrator was developed, optimizing these factors through precise control of dehydration air temperature and air circulation velocity, which are adjusted according to the type of product being dehydrated, prevailing solar radiation, and external temperature conditions at any given time.

The developed dehydrator leverages real-time outdoor air conditions, constantly optimizing the process by monitoring temperature and relative humidity levels of external air, air entering the dehydration chamber, and air exiting the chamber. This is achieved through a recirculated air and airflow control system, ensuring that the equipment operates under optimal conditions at all times.

Performance tests on the developed system have led to the conclusion that the dehydration process has been successfully optimized, primarily due to the innovative design configuration, notably the dehydration chamber, which maximizes the efficiency of dehydration process.

References:

1. Baraday, Y., Howlader, M. N. A., Ismail, A. F., & Hrairi, M. (2015). Chapter 6 - Drying of Fruits and Vegetables: the Impact of Different Drying Methods on Product Quality. In V. Minea (Ed.), *Advances in Heat Pump-Assisted Drying Technology* (pp. 189-). CRC Press.
2. Patel, A., Shah, S. A., & Bhargav, H. (2013). Review on Solar Dryer for Grains, Vegetables and Fruits. *IJERT*, 2(1).
3. Boyer, R., & Huff, K. (2008). *Using Dehydration to Preserve Fruits, Vegetables, and Meats*. Virginia Tech, pp. 348–597.
4. Gregoire, R. G. (2009). *Understanding Solar Food Dryers*. Volunteers in Technical Assistance (VITA): Virginia, United States of America.



5. Kendall, P., Dipersio, P., & Sogos, J. (2012). Drying Vegetables. In Preserving Food: Drying Fruit and Vegetables. University of Georgia Cooperative Extension Service, College of Family and Consumer Science in cooperation with the College of Agricultural and Environmental Science.



24 Análisis termodinámico de la concentración solar para cocimiento de alimentos

Dr. Alejandro Garza Galicia^a, Laury Katherine Gualdron Godoy^b, Katia Guadalupe López Murillo^c

^aCentro de Investigación Universidad del Valle de Atemajac, Guadalajara, México
a.garza@univa.mx

^bUniversidad de Pamplona, Santander, Colombia

^cCU Tonalá, Universidad de Guadalajara., México

Resumen

Los consumos de combustibles para cocimiento, deshidratado y secado de alimentos cada vez es más alto y en muchos lugares el uso de la leña sigue siendo una práctica común por lo que su producción de huella de carbono cada vez se incrementa. El cocimiento de alimentos en términos termodinámicos es el proceso que provoca un cambio de sus propiedades por el suministro de energía continua en forma calor por lo que es importante mantener constante la fuente de energía para alcanzar las condiciones requeridas. Al utilizar fuentes de energía solar para el proceso se ha cuestionado la posibilidad de utilizarla para disminuir el consumo de combustible y los efectos sobre el medio ambiente, en el presente trabajo se analizó la concentración solar como potencial utilización aplicando un balance de energía en condiciones de 800 wttts/ m² de radiación promedio con respecto a condiciones de gradientes en el clima y una fuente de combustible fósil, encontrándose la función de cocimiento, la cantidad de calor que requerida en el caso de gradientes por nubosidad y los tiempos estimados por unidad de masa de cocimiento, de esta manera se identificó el potencial de utilizar esta fuente para disminuir el consumo de gas LP no solo a nivel de restaurantes, sino para sistemas de la industria alimenticia en términos de pre y cocimiento.

Palabras clave: Primera ley termodinámica, entalpia, radiación solar, cocimiento.



Metodología

El proceso de experimentación se basa en el método científico utilizando las bases de la Ingeniería termodinámica y la transferencia de calor, la base para alcanzar el objetivo planteado se enfoca en la utilización de un concentrador solar circular de tipo parabólico ajustable a la posición del sol con un diámetro de 1.6 m con superficie de aluminio y una cocina solar de superficie de captación de cristal 0.6 m x 0.5 m en su interior cubierta de aluminio con aislamiento de poliuretano, ambos expuestos a la radiación solar en condiciones ambientales del verano como se aprecia en el esquema 1.

El cocimiento de alimentos de base de caldos o húmedos se presenta a una condición de líquido saturado pasando por el cambio de fase y alcanzar la fase de vapor saturado, en nuestro caso se utilizó un volumen de 1L de agua en una línea de presión constante que era la atmosférica sensando la distribución de temperatura con el tiempo a la condición de la radiación solar en el momento de la medición.

Como el experimento se presenta bajo condiciones ambientales del verano de 2023 se realizan corridas durante seis días presentándose climas diferentes como se aprecia en la foto 1. En la tabla 1 se presentan las condiciones atmosféricas promedio en las que se realizaron las corridas para el concentrador parabólico funcionando como cocina solar.

Tabla 1

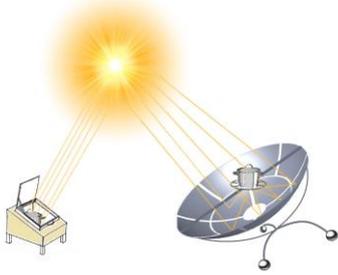
Parámetro	Registro promedio	Método	Observaciones
Temperatura ambiente [°C]	31	Termómetro mercurio	Sin variaciones.
Volumen agua	1 L	Volumen	
Radiación solar promedio [wtts/m ²]	800	Radiómetro TESS 1333 twiligh	
Presión atmosférica [cm Hg]	61	Torricelli	Densidad mercurio 13, 599 kg/m ³ .
Velocidad del viento [m/s]	0.01	Anemómetro Exttech	Sin presencia de ráfagas.
Horario de corrida	13 – 15 hrs	Reloj	Horario centro México

Para tener una referencia con lo ideal del cocimiento y compararlo con el sistema propuesto se puso el mismo volumen de agua en una fuente eléctrica continua tipo estufa de 825 wtts de potencia, de esta forma se poder modelar el calentamiento el agua simulando el cocimiento e identificar la cantidad de calor entre



la que aporta la estufa eléctrica y la energía por el aprovechamiento de la radiación del sol.

Esquema 1



Transferencia de calor por radiación solar

Foto 1

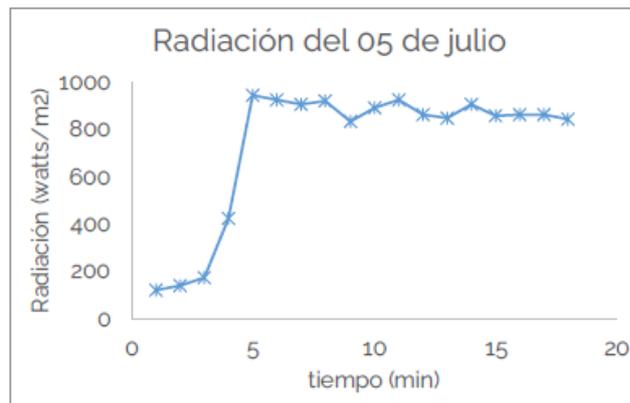


Toma de muestras en concentrador

Resultados

Para visualizar el comportamiento termodinámico de los sistemas de cocimiento se caracterizó la fuente de energía solar midiendo la radiación con radiómetro, al mismo tiempo se registra la temperatura del agua en función del tiempo tanto para el concentrador solar, estufa de caja y dentro de laboratorio con la fuente de calor de tipo eléctrica continua, graficándose los resultados respecto del tiempo.

Grafica 1



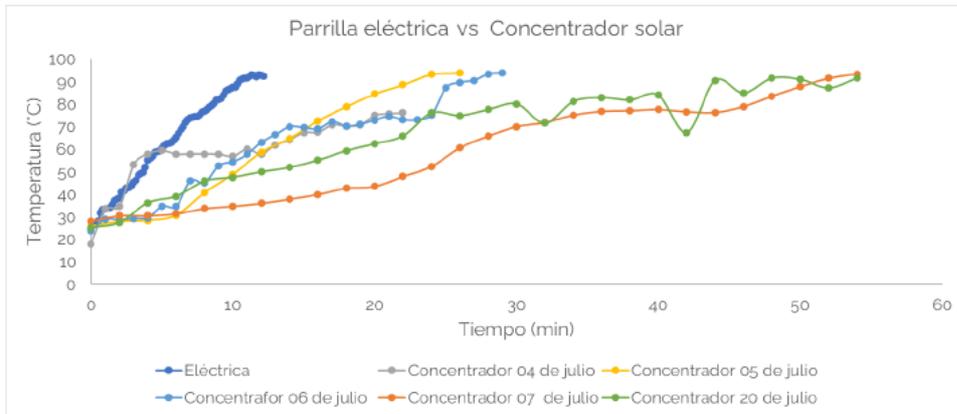
Comportamiento de la radiación solar

El comportamiento de la radiación solar que se aprecia en la gráfica 1 en un día típico de verano registro un promedio de 800 wts/m², suficiente para lograr un calor para realizar el cambio de fase. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que este es un fenómeno de la naturaleza y en cualquier momento se presenta nubosidades que disminuyen la magnitud de la fuente y se presentan transitorios que pueden afectar el cocimiento.



En la gráfica 2 se visualizan todos los comportamientos con respecto al tiempo, como se ve la parrilla eléctrica es lo más eficiente en tiempo mas corto.

Gráfica 2

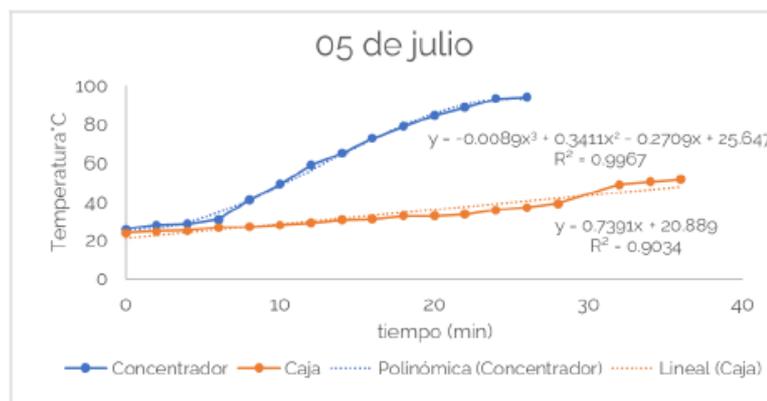


Comportamiento de la Temperatura en función del tiempo

Comparando los dos equipos solares como se ve en la gráfica 3, el concentrador parabólico es mucho más eficiente que la estufa de caja, de esta forma se identifica el potencial de la concentración solar por su alta temperatura llegando a los 93°C.

Como se visualiza el concentrador alcanza la temperatura de cambio de fase es decir termodinámicamente está del lado derecho de la campana de saturación con lo cual se efectúa el cocimiento del alimento, sin embargo, en los siguientes días donde la radiación es variable por nubosidades e inclusive lloviznas se presentan gradientes de temperatura y aumenta el tiempo para alcanzar la saturación.

Gráfica 3



Comparativo de comportamiento del concentrador vs estufa caja

Al analizar el comportamiento de la temperatura en los tres casos se identifica que el concentrador solar representa una opción para el cocimiento de alimentos sin la utilización de combustible fósil y considerando que el movimiento para seguir el sol puede ser una operación automatizada con lo cual no se requiere operador.



En el caso de la estufa de caja que alcanzó la temperatura de 50 °C evidentemente se ve que el tiempo de cocción es mucho mayor pero puede considerarse para cocimientos lentos como las verduras cocidas por lo que puede ser una alternativa de pre cocimiento o elaboración de concentrados como Jamaica o Tamarindo, pero considerando un mayor tiempo de operación.

Conclusiones

El análisis termodinámico y de transferencia de calor indican que el aprovechamiento de la energía termosolar para cocimiento de alimentos caldosos es factible con una radiación promedio de 800 watts/m² en la ciudad de Guadalajara lo que permite establecer su uso para una gran cantidad de procesos donde se requiere calentamiento de agua o algún fluido.

Las variaciones con respecto del tiempo de la radiación solar modifican la estabilidad del proceso de cocimiento al variar la temperatura, gráficamente el área entre las curvas del concentrador y la fuente eléctrica determina la energía necesaria para alcanzar la estabilidad por lo que se deriva la importancia de estudiar formas viables para mantener la energía constante a través de un sistema híbrido controlado electrónicamente a fin de disminuir el consumo de las fuentes fósiles.

Referencias

- [1] F. P. Incropera. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th ed. US. Willey & Sons. 2012.
- [2] K. Wark. *Termodinámica*. 6th ed. España. McGraw Hill. 2001
- [3] Y. A. Cengel. *Transferencia de calor*. 2nd ed. México. McGraw Hill. 2005.
- [4] V. Rodríguez. Y Mejía. "Optimización De Un Concentrador Solar Para Celdas Fotovoltaicas". *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 8(2), .[fecha de Consulta 25 de Julio de 2023]. ISSN: 0120-4211. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90319342002> .





25 Análisis técnico, económico y ambiental de un secador solar térmico-fotovoltaico con almacenamiento térmico

Leslie A. Valencia Ceballos, Mario Nájera-Trejo, Ignacio R. Martín Domínguez,

Jorge Escobedo Bretado, Erick César López-Vidaña

CONACYT - Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV #110, Ejido 34305, Arroyo Seco, Durango, Dgo., México.

*Corresponding author: erick.lopez@cimav.edu.mx

Resumen

El secado solar de alimentos es una alternativa ante problemáticas ambientales y sociales como el calentamiento global y la inseguridad alimentaria. Actualmente existen diversos modelos de secadores solares que han sido diseñados y evaluados en investigaciones previas; sin embargo, es necesario seguir estudiando el comportamiento de los secadores e innovando estas tecnologías debido a la variedad de factores que afectan su desempeño.

En este trabajo se analizó un secador solar térmico-fotovoltaico con almacenamiento térmico, ubicado en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C., Unidad Durango, por medio de parámetros técnicos, económicos y ambientales para sus diferentes modos de operación: solar indirecto, solar mixto y solar híbrido. Los experimentos se realizaron en vacío y con tres variedades de color de chile habanero (*Cápsicum chinensis*) como caso de estudio.

También se realizaron pruebas de secado usando gas licuado de petróleo como combustible y con secado solar a cielo abierto como para la comparación de resultados, en los cuales se obtuvo una gran reducción de tiempo de secado respecto al secado a cielo abierto y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero superiores a las 2 tCO₂e/año.



Palabras clave: secador solar fotovoltaico; análisis técnico; eficiencia

de secado; mitigación de emisiones; secador solar híbrido.

Introducción

El secado es un proceso que promueve la eliminación de agua de un material por medio de mecanismos de transferencia de masa y calor[1], [2]. Este es utilizado en diversas industrias, como la alimenticia, donde se retira la humedad de los alimentos para aumentar la vida de anaquel, valor agregado y la capacidad de transporte y almacenamiento[3]–[5]. Sin embargo, el secado requiere grandes cantidades de energía, generalmente obtenida de combustibles fósiles, lo que provoca la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI)[2], [6]. El secado solar, por otra parte, obtiene toda o una fracción de la energía necesaria de la radiación solar y convertida en energía térmica o fotovoltaica, mitigando la producción y liberación de contaminantes atmosféricos[7].

La variabilidad climática, la velocidad del aire al interior de la cámara, la temperatura y la masa a secar son algunos de los múltiples factores que afectan el secado, lo que ha dado lugar al estudio y desarrollo de diversos secadores solares. Estas tecnologías se clasifican principalmente dependiendo de la forma en que adquieren la energía[8]: 1) en un secador solar tipo gabinete o directo, la radiación solar pasa por una cubierta transparente o semi-transparente e incide en los productos a secar; 2) en un secador tipo indirecto, la radiación no incide en el producto al estar cubierto por un material opaco, en estos dispositivos la energía solar es usada para calentar aire mediante un dispositivo externo; 3) en un secador tipo mixto la radiación incide directamente en los productos a la par que el calor solar es suministrado por un colector solar, y 4) en un secador solar híbrido la energía solar puede aprovecharse directa y/o indirectamente integrando otras fuentes de energía al sistema, la cual puede ser renovable o no renovable[4], [8].

Una desventaja de los sistemas solares es que son intermitentes debido a la intermitencia de las condiciones meteorológicas. Para mitigar esta problemática se implementan sistemas de almacenamiento de energía térmica, los cuales aprovechan las propiedades físicas de los materiales para almacenar calor[8].

En este trabajo, se realizaron diversos experimentos en un secador solar, con los cuales se evaluó el funcionamiento del mismo, así como parámetros económicos y ambientales, en cuatro configuraciones de funcionamiento distintas: solar mixto, solar indirecto y solar híbrido con gas licuado de petróleo (GLP). El objetivo principal fue hacer un análisis comparativo de los parámetros en los diferentes modos de operación evaluados con el propósito de identificar ventajas y desventajas en su uso, así como proponer posibles mejoras.



Metodología

Sistema de estudio y equipo de medición

El secador solar térmico-fotovoltaico con almacenamiento térmico se compone de dos partes: la cámara de secado y el Sistema de Calentamiento Agua-Aire Multipropósito (SCAAM). La cámara de secado es una estructura de acero de sección cuadrada de 0.47 m x 0.47 m de ancho y 2.32 m largo con paredes de vidrio transparente el cual tiene instalado un intercambiador de calor y un ventilador axial en uno de sus extremos. El SCAAM es un sistema modular de calentamiento de agua, el cual puede acoplarse en distintas configuraciones; para este trabajo, los componentes usados fueron: 1) un sistema de 4 colectores solares de placa plana (Maxsol MS-2.5 full plate), 2) tanque de almacenamiento térmico (Calorex, modelo ST_80-CX), 3) una caldera a gas LP (marca BOSCH, modelo Therm 8000 S) y 4) un sistema fotovoltaico monocristalino (SOLARVATIO SV-330-MONO-5-72UL), un inversor (Duralast, modelo 7560), una batería de ciclado profundo (LTH, modelo L-31T/S-190M) y un controlador (MakeSkyBlue, 30 A, 96 V).

Para la medición de temperatura y humedad relativa ambiente se utilizaron sensores ONSET HOBO modelo S-THC-M002 e, S-TMB-M002 para monitorear la temperatura de agua y S-BPB-CM50 para la presión barométrica. La radiación solar global se midió con un piranómetro Black & White (The Eppley Laboratory, INC) modelo 8-48; el flujo de agua con un caudalímetro Proline, modelo Promag P 200; el peso de las muestras con una balanza digital marca dibatec; con un registrador de potencia eléctrica marca HOBO, modelo UX120-018, y la velocidad del aire con un anemómetro EXTECH, modelo AN200. En el interior de la cámara de secado se instalaron sensores SENSIRION modelo SHT45-AD1B para la medición de temperatura y humedad relativa.

Desarrollo experimental

Los experimentos se realizaron en dos etapas: en la primera, el secador se operó en vacío. Los parámetros y las configuraciones se muestran en la Tabla 1. En la segunda etapa se operó el secador con un caso de estudio (Chile habanero) con velocidad de aire a 1 m/s y flujo volumétrico de agua de 7 L/min en tres configuraciones distintas: solar mixto, solar indirecto y convencional, además de realizarse un experimento de secado a cielo abierto para obtener datos comparativos.

Una vez obtenidos los datos experimentales, estos se utilizaron en el cálculo de parámetros técnicos (eficiencia de los colectores solares, contenido de humedad, tasa de secado, eficiencia de secado, *pick-up efficiency*, consumo específico de energía y energía térmica útil), ambientales (potencial de mitigación y cantidad de combustibles fósiles ahorrados) y económicos (tiempo de retorno de inversión y bonos de carbono).



Tabla 7. Parámetros y configuraciones para los experimentos con el secador solar vacío.

Configuración del secador	Velocidad de aire (m/s)	Flujo volumétrico de agua (L/min)
Solar mixto	1	7
	1	5
	2.5	5
	2.5	7
Solar híbrido	1	7
Convencional (GLP)	1	7

Materiales

Chile habanero (*Cápsicum chinensis*), en tres variedades de color: naranja, verde y amarillo, se compró en supermercados de la Ciudad de Durango, Durango, Mx. Se seleccionaron los ejemplares que no presentaran daños físicos y se almacenaron a 5 °C hasta la experimentación. Antes de cada prueba, los chiles fueron cortados longitudinalmente, pesados, se les determinó el contenido de humedad y fueron distribuidos en bandejas de secado.

Resultados

Análisis técnico

Los experimentos realizados con el secador vacío en configuración solar mixto (Tabla 1) se llevaron a cabo en un periodo de dos días con horario de 09:30 horas, cuando la radiación normalmente superaba los 550 W/m² en un día despejado de marzo, a 18:00 horas, cuando la radiación registraba valores menores a 200 W/m². Se obtuvo que la combinación de parámetros de velocidad de aire 1 m/s y flujo volumétrico de agua 7 L/min fue la más eficiente con valores de 0.59 de eficiencia de los colectores y 0.55 de eficiencia para incrementar la temperatura dentro de la cámara de secado; esta combinación de parámetros fue la usada en todas las pruebas posteriores tanto en vacío como con caso de estudio.

Los experimentos con en secador vacío con configuraciones solar híbrido y convencional tuvieron duración de un día de 09:30 a 18:00 horas; se utilizaron 0.17 kg GLP/h y 0.44 kg GLP/h, respectivamente. En el secador configuración solar híbrido la temperatura dentro de la cámara de secado se mantuvo en promedio en 55.07°C mientras que la temperatura ambiente promedio fue de 32.94 °C. En el secador configuración convencional la temperatura promedio dentro del secador fue 57.14°C, a comparación de la temperatura ambiente cuyo promedio fue de 34.33°C.

Respecto a los experimentos de secado con caso de estudio, los resultados se resumen en la Tabla 2, donde se puede observar que la mayor eficiencia de secado se obtuvo con la configuración convencional, aunque los tiempos de secado más cortos fueron con la configuración solar mixta. El mayor consumo



específico de energía se dio en la configuración tipo indirecta, mientras que el menor se obtuvo con la configuración convencional.

Tabla 8. Resultados de los experimentos con caso de estudio.

Parámetro	Unidades	Solar mixto	Solar indirecto	Convencional	Solar a cielo abierto
Masa inicial	g	765.10	605.80	769.40	255.90
Humedad inicial (base húmeda)	g _{agua} /g _{totales}	0.87	0.86	0.86	0.87
Humedad final (base húmeda)	g _{agua} /g _{totales}	0.09	0.12	0.17	0.16
Tiempo total de secado	h	30.08	28.53	28.86	58.80
Tiempo de secado (horas de trabajo)	h	14.19	15.33	15.03	N.A.
Radiación promedio	W/m ²	620.27	760.71	N.A.	S.I.
Eficiencia de secado	%	0.12671	0.08281	0.15550	N.A.
Consumo específico de energía	W/g _{agua}	35.60	50.10	27.44	N.A.

Análisis ambiental

En este análisis se consideró que, en un año con 312 días de operación del secador, la configuración convencional puede emitir 3.54 tCO_{2e} por la combustión del gas L.P. y 0.25 tCO_{2e} por uso de energía eléctrica. Considerando las emisiones en configuración convencional como las máximas, se estima que la mitigación de emisiones con la configuración solar híbrida asciende al 35%, equivalente a 1.32 tCO_{2e}, con ahorro de 388.09 kg/año de combustible. Por otro lado, el secado solar (cielo abierto, mixto e indirecto) evita el 100% de las posibles emisiones de tCO_{2e}; sin embargo, en temporadas frías o de alta nubosidad, la calidad del secado puede no ser comparable con la obtenida con las configuraciones convencional y solar híbrido que mantienen condiciones de secado más estables durante el proceso completo.

Análisis económico

Los costos de inversión en el equipo fueron calculados en \$100,925.62 pesos mexicanos (MXN) para las configuraciones solar mixto y solar indirecto, \$147,629.26 MXN para la configuración solar híbrido y \$76,326.21 MXN para la convencional. Si se consideran solamente la compra de combustible y el pago de la tarifa eléctrica, se estimó que el monto anual por gastos de operación asciende a \$1,693.96 MXN para la configuración solar híbrido y \$22,491.38 MXN para la configuración convencional, obteniendo un tiempo de retorno de inversión de 3.8 años para el secador en configuración solar híbrido en comparación con la configuración convencional.

Debido a que el mercado de los bonos de carbono en México no cuenta hasta la fecha con un sistema de comercio adecuado, se tomó el valor de \$2 dólares americanos por tCO_{2e}, por lo cual la ganancia anual por la venta de los



mismo sería de \$45.32 MXN, los cuales no afectan significativamente el periodo de retorno de inversión.

Conclusiones

Entre los arreglos evaluados, el más eficiente fue el establecido a 1 m/s y 7 L/min. Se estimó que, para el caso de estudio, la configuración más eficiente fue la convencional con GLP; sin embargo, en las condiciones estudiadas, la variación en los tiempos de secado fue menor a 2 horas en todas las configuraciones del secador, la cual fue mínima en comparación con el secado a cielo abierto cuya variación asciende a más de 25 horas. Respecto al análisis ambiental, el secado en las configuraciones solar mixto e indirecto tienen la capacidad de mitigar las 3.79 tCO₂e/año que se estima podría emitir el secador en configuración convencional, mientras que esta cifra disminuye a 1.32 tCO₂e con la configuración solar híbrida. Por su parte, en el análisis económico se obtuvo que la configuración del secador que obtuvo el mayor costo de inversión inicial fue la solar mixto y la del menor costo fue la convencional; aun así, a la larga, se estima que las configuraciones solares mixto, indirecto e híbrido pueden ser mejor opción económica al ofrecer ahorros por concepto de combustible. Se considera a la configuración solar híbrida como la que puede tener resultados de secado más comparables con la configuración convencional al ofrecer más estabilidad de temperaturas a lo largo del proceso.

Este análisis permitió conocer el desempeño del secador en sus diferentes configuraciones. Los resultados permitirán su comparación con otros secadores estudiados y establecer los aspectos en los que se debe mejorar. Debido a que este estudio fue experimental, se considera que los resultados son limitados a las condiciones que pudieron probarse en un tiempo limitado. El estudio del secador por medio de la simulación podría complementar los resultados obtenidos en el presente trabajo.



Bibliografía

- [1] V. P. Chandramohan y P. Talukdar, "Deformation of Potato during Convective Drying", *Appl. Mech. Mater.*, vol. 592–594, pp. 2728–2732, jul. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.592-594.2728.
- [2] M. R. Nukulwar y V. B. Tungikar, "Recent development of the solar dryer integrated with thermal energy storage and auxiliary units", *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 29. p. 101192, marzo de 2022. doi: 10.1016/j.tsep.2021.101192.
- [3] A. Ahmadi, D. H. Jamali, M. A. Ehyaei, y M. E. H. Assad, "Energy, exergy, economic and exergoenvironmental analyses of gas and air bottoming cycles for production of electricity and hydrogen with gas reformer", *J. Clean. Prod.*, vol. 259, p. 120915, jun. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120915.
- [4] A. B. Lingayat, V. P. Chandramohan, V. R. K. Raju, y V. Meda, "A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights", *Appl. Energy*, vol. 258, p. 114005, ene. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114005.
- [5] A. Menon, V. Stojceska, y S. A. Tassou, "A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies", *Trends in Food Science and Technology*, vol. 100. pp. 67–76, junio de 2020. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.014.
- [6] G. S. V. Raghavan, T. J. Rennie, P. S. Sunjka, V. Orsat, W. Phaphuangwittayakul, y P. Terdtoon, "Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects", *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 22, núm. 2, pp. 195–201, jun. 2005, doi: 10.1590/S0104-66322005000200005.
- [7] O. Prakash, A. Kumar, y Y. I. Sharaf-Eldeen, "Review on Indian Solar Drying Status", *Curr. Sustain. Energy Reports*, vol. 3, núm. 3–4, pp. 113–120, dic. 2016, doi: 10.1007/s40518-016-0058-9.
- [8] V. R. Mugi, P. Das, R. Balijepalli, y C. VP, "A review of natural energy storage materials used in solar dryers for food drying applications", *Journal of Energy Storage*, vol. 49. p. 104198, mayo de 2022. doi: 10.1016/j.est.2022.104198.





26 Estudio de corrosión del acero inoxidable 304 en LiCl

M. Avilés-Flores ^{a*}, J. Cerezo-Román ^b, J. G. González-Rodríguez ^b,
R. J. Romero Domínguez ^b.

^{a*} *Posgrado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, UAEM, Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México.
modesto.avilesflo@uaem.edu.mx*

^b *Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, UAEM, Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México.*

Resumen

Los sistemas de enfriamiento por absorción de vapor (VACS) utilizan fluidos de trabajo para su operación, los pares más utilizados son NH₃-H₂O y H₂O-LiBr. En general el NH₃-H₂O se utiliza en refrigeración para la conservación de alimentos debido a que el NH₃ tiene un punto de congelación de -77°C, mientras que el H₂O-LiBr se utiliza para acondicionamiento de espacios debido a que el H₂O como refrigerante se limita a temperaturas superiores a 0°C. En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones en la búsqueda de nuevos fluidos de trabajo que permitan mejorar el rendimiento de los fluidos más utilizados. A pesar de que los fluidos de trabajo que utilizan los VACS se consideran amigables con el ambiente, con el paso del tiempo llegan a presentar problemas de corrosión en los metales, principalmente por la presencia de haluros agresivos como el cloruro o el bromuro, dañando la estructura del sistema y reduciendo su vida útil. Por este motivo, los VACS utilizan comúnmente acero inoxidable 304 o 316L en sus componentes, ya que estos aceros han sido diseñados para ofrecer alta resistencia a la corrosión en un amplio rango de condiciones de servicio, debido a sus aleaciones de Cromo, Níquel y Molibdeno. En el presente trabajo, se presenta un estudio de corrosión utilizando acero inoxidable 304 en la solución H₂O-LiCl a concentraciones de 35 y 40% (en fracción másica), mediante cuatro técnicas electroquímicas, las técnicas utilizadas son: Potencial a circuito abierto, Curvas de polarización, Espectroscopia de impedancia electroquímica y Ruido electroquímico, las cuales permiten obtener información termodinámica, cinética y analítica de un sistema. Además, están basadas en la transformación de energía eléctrica a energía química y viceversa con base en un electrodo de prueba inmerso en un electrolito. Los resultados obtenidos mostraron que existe una estrecha relación entre la temperatura y la velocidad de corrosión en el acero inoxidable 304 cuando es expuesto ante el LiCl, esto debido a que al incrementar la temperatura la velocidad de corrosión es mayor. Así mismo, se pudo comprobar que se presentó corrosión localizada en forma de picadura. De igual manera, la velocidad de corrosión que presenta el metal mostró valores pequeños de desgaste del orden $10^{-5} \frac{mm}{año}$.

Palabras clave: Acero inoxidable 304, Velocidad de corrosión, Temperatura, Picadura.



Introducción.

En las últimas décadas, a nivel mundial se ha presentado un incremento en el consumo energético principalmente en viviendas, espacios públicos como oficinas o centros comerciales debido a las demandas de confort térmico de los individuos; para satisfacer estas necesidades de acondicionamiento de espacios se utilizan sistemas de refrigeración por compresión de vapor (VCRS) los cuales consumen aproximadamente el 15% de la energía eléctrica producida a nivel mundial [1]. El aumento del consumo energético ocasiona un incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales tienen efectos adversos sobre el calentamiento global y la contaminación atmosférica [2,3]. Una opción viable para mitigar las repercusiones ambientales y reducir el consumo de energía eléctrica son los sistemas de enfriamiento por absorción de vapor (VACS) que es una tecnología de refrigeración impulsada por calor, su activación requiere energía térmica de bajo grado [4], la cual se puede obtener mediante fuentes como la energía solar, geotérmica, biomasa o recuperación de calor residual [5]. Además de tener una vida útil de 20 a 30 años [6]. Los VACS funcionan sobre la base de refrigerantes respetuosos con el medio ambiente, los más comunes son el $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ para aplicaciones de refrigeración en la conservación de alimentos y $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ para aplicaciones de aire acondicionado, a pesar de que estos refrigerantes se consideran ecológicos por no dañar al medio ambiente, con el tiempo ocasionan daño en los metales como la corrosión en los componentes del sistema [7].

Los problemas de corrosión que presentan los VACS se deben a factores como la solubilidad y la presión de vapor; al respecto, se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación. Tao When [8] estudio de un sistema de enfriamiento de desecante líquido, sobre el comportamiento de la corrosión de la solución de formiato de potasio (KCOOH) y del LiCl en el acero inoxidable 316L con Técnicas electroquímicas. Los resultados mostraron que, cuanto mayor es la densidad de corriente de corrosión, más rápida es la velocidad de corrosión; en el acero inoxidable 316L la velocidad de corrosión en la solución de KCOOH fue mucho más lenta que en la solución de LiCl . Cuevas [9] evaluó la corrosión del acero al carbono expuesto en solución $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ al 50% en masa a 25, 60 y 80°C mediante las técnicas electroquímicas a diferentes temperaturas. Los resultados mostraron que el acero al carbono es susceptible a sufrir corrosión por picadura cuando aumenta la temperatura; se comparó la cinética de corrosión con varios tipos de aceros inoxidables, mostrando que el acero al carbono presenta algunas características que lo hacen resistente a la corrosión en comparación con algunos aceros inoxidables. Na Li [10] realizó un estudio de corrosión en un VACS de simple efecto impulsado por energía solar, con la mezcla cuaternaria $\text{CaCl}_2\text{-LiBr-LiNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ en acero inoxidable 316L aplicando el método de pérdida de peso, los resultados mostraron que la velocidad de corrosión es muy pequeña de $1.67 \frac{\mu\text{m}}{\text{año}}$ y no presenta corrosión localizada en esta solución.



El objetivo del presente estudio es analizar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable 304 con la mezcla de trabajo H₂O-LiCl mediante pruebas electroquímicas a concentración y temperatura de operación del generador y absorbedor del sistema.

Metodología.

El equipo experimental utilizado para llevar a cabo las técnicas electroquímicas del presente estudio está conformado por un potenciostato GAMRY modelo 30126, un equipo de cómputo y una celda electroquímica estándar de tres electrodos como se muestra en la Figura 1. Como electrodo de trabajo se utilizaron probetas de acero inoxidable 304, mientras que como electrodo de referencia se utilizó el de plata-cloruro de plata (Ag/AgCl), y como electrodo auxiliar se utilizó una varilla de grafito de 6mm de diámetro; la solución fue H₂O-LiCl a concentraciones del 35 y 40% (en fracción másica). Antes de iniciar las pruebas, las probetas de acero inoxidable 304 se sometieron a un proceso de pulido superficial mediante lijas de papel hasta el número 600. Las técnicas electroquímicas se realizaron a temperaturas de operación 25, 35 y 70°C.

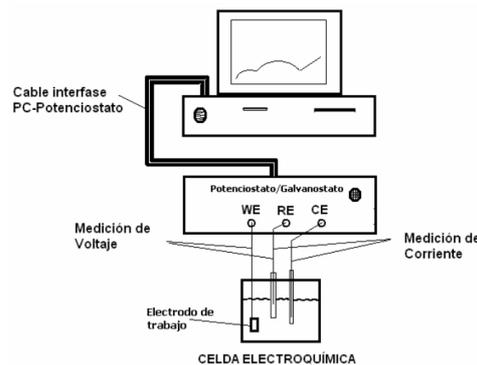


Figura 1. Arreglo instrumental para el estudio de corrosión [11].

Técnicas electroquímicas.

1) Potencial a circuito abierto (OCP). Permite determinar el potencial de corrosión (E_{corr}) en el transcurso del tiempo; los resultados obtenidos a las dos concentraciones se muestran en las Figuras 2 y 3. La Figura 2 muestra que a 25°C el valor del E_{corr} del acero inoxidable incrementa su valor a números positivos y el metal tiende a protegerse, mientras que a temperaturas mayores el E_{corr} pasa a valores negativos volviendo al metal más activo y con tendencia de corrosión. La Figura 3 muestra que a 25°C el valor de E_{corr} del metal presenta un incremento, pero en corto tiempo muestra una caída rápida con tendencia de corrosión, para el caso de 35°C, el E_{corr} tiene un pequeño incremento y se



mantiene estable, mientras que a 70°C presenta un gran incremento de pasivación y una ligera caída hasta llegar a la estabilización.

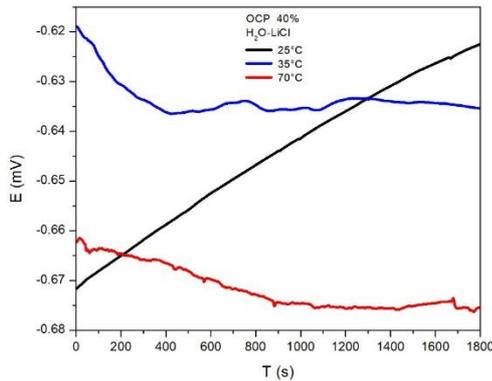


Figura 2. OCP acero inoxidable 304 al 40%.

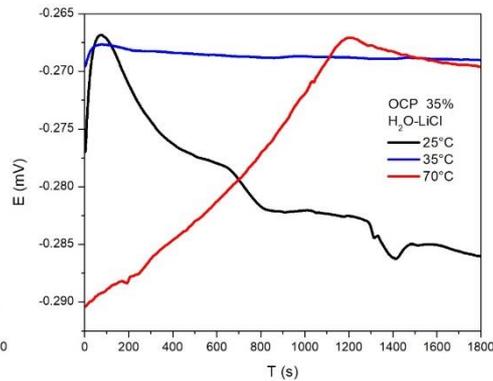


Figura 3. OCP acero inoxidable 304 al 35%.

35%.

2) Curvas de polarización (CV). Esta técnica proporciona información sobre el valor de la densidad de corriente (I_{corr}) además de los procesos que tienen lugar en una superficie metálica. Los resultados obtenidos muestran en las Figuras 4 y 5. La Figura 4 muestra que en los tres niveles de temperatura el metal forma una capa pasiva protectora en la rama anódica, siendo la de mayor magnitud la de menor temperatura; así mismo, la diferencia de I_{corr} entre la temperatura mayor y menor es de casi un orden de magnitud, en los tres casos se presenta el rompimiento de la capa pasiva y la I_{corr} se incrementa en forma acelerada dando lugar a corrosión localizada. La Figura 5 muestra que el valor de la I_{corr} y la formación de la capa pasiva en las tres temperaturas son muy cercanas, se presenta rompimiento de la capa pasiva y corrosión localizada.

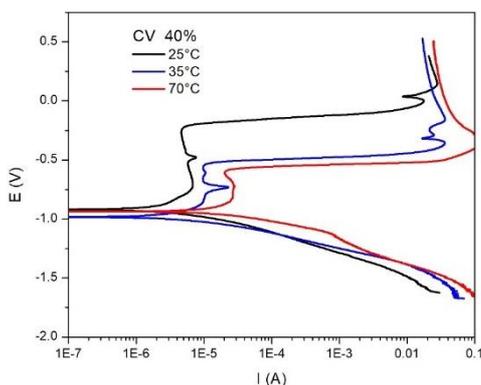


Figura 4. CV acero inoxidable 304 al 40%.

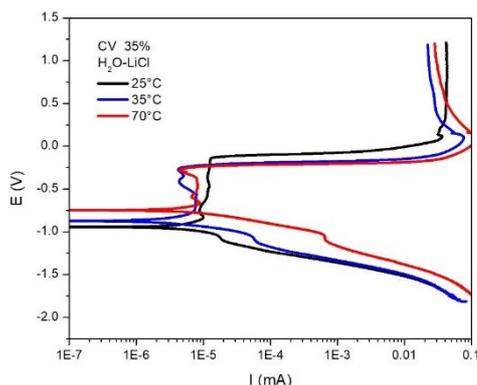


Figura 5. CV acero inoxidable 304 al 35%.



Las curvas de polarización permiten además determinar la velocidad de corrosión (CR) en $\frac{mm}{año}$ mediante el método de extrapolación de Tafel, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos de velocidad de corrosión en $\frac{mm}{año}$

H ₂ O-LiCl al 40%		
Material	Temperatura °C	CR ($\frac{mm}{año}$)
Inoxidable 304	25°C	1.99E-05
	35°C	5.24E-05
	70°C	7.28E-05
H ₂ O-LiCl al 35%		
Inoxidable 304	25°C	5.83E-05
	35°C	6.21E-05
	70°C	6.76E-05

3) Espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). Los datos obtenidos de EIS proporciona información sobre los mecanismos de corrosión que ocurren en la interfaz metal/electrolito. Los diagramas de Nyquist obtenidos se muestran en las Figuras 6 y 7. La Figura 6 a 25 y 35 °C presenta un semicírculo capacitivo deprimido, lo que indica que el proceso de corrosión está controlado por la transferencia de carga, mientras que a 70°C se forma un rizo inductivo, indicando que el proceso es controlado por la adsorción/desorción de las especies y sufre corrosión localizada. La figura 7 muestra que a 25°C el proceso está controlado por la transferencia de carga, a 35 °C se presenta un proceso resistivo que se puede deber a efectos capacitivos, mientras que a 70 °C se presenta un rizo inductivo y el proceso es controlado por la adsorción/desorción de las especies y se presenta corrosión localizada.

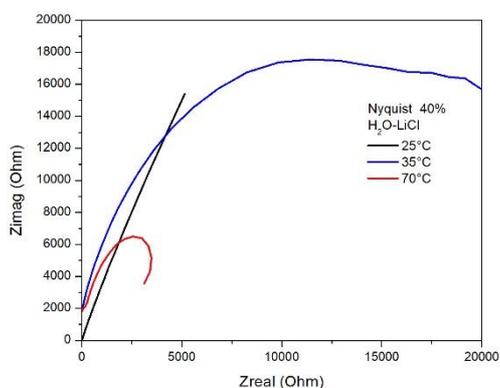


Figura 6. Nyquist acero inoxidable 304 al 40%. 35%.

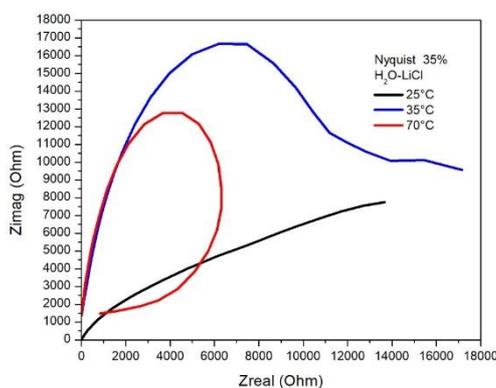


Figura 7. Nyquist acero inoxidable 304 al 35%.



4) Ruido electroquímico (NE). Esta técnica permite estimar la velocidad y los mecanismos de corrosión de aleaciones metálicas mediante la medida y análisis de fluctuaciones de corriente y potencial. Las gráficas de NE obtenidas se muestran en las Figuras 8 y 9. La gráfica 8 muestra serie de tiempo en corriente, los transitorios anódicos/catódicos presentan perturbaciones de grande y mediana amplitud además de en oscilaciones estocásticas de forma secuencial, esta gráfica es típica de corrosión localizada. La Figura 9 al inicio presenta perturbaciones de mediana magnitud donde se presenta corrosión localizada, posteriormente se presentan oscilaciones estocásticas de forma secuencial, lo que indica que el metal se puede estar protegiendo o presentando corrosión generalizada.

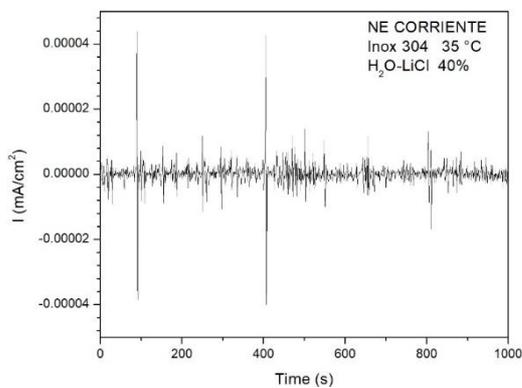


Figura 7. NE en (I) acero inoxidable 304 al 40%.

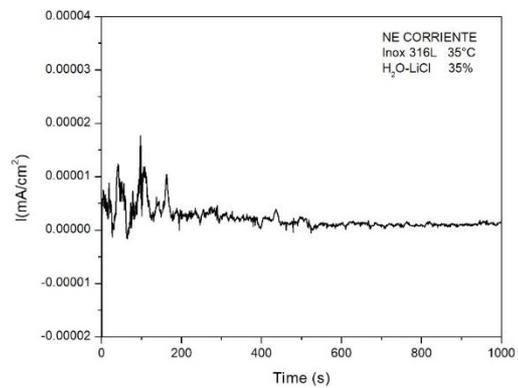


Figura 8. NE en (I) acero inoxidable 304 al 35%.

Una vez terminadas las técnicas electroquímicas, se realizó la limpieza de las probetas y el retiro de los productos de corrosión con base a la Norma ASTM G1. Práctica estándar para la preparación, limpieza y evaluación de especímenes de corrosión. Para posteriormente realizar un estudio de SEM a 2000 aumentos, de los resultados obtenidos se observa que el acero inoxidable 304 presenta corrosión localizada en forma de picadura, como se muestra en las Figuras 9 y 10.



Figura 9. Corrosión por picadura al 40%

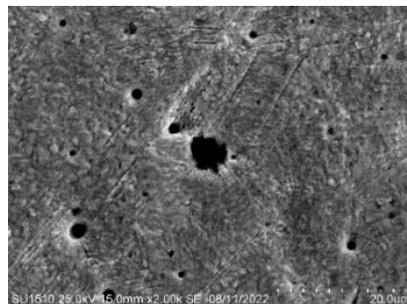


Figura 10. Corrosión por picadura al 35%



Conclusiones.

Con base en los resultados obtenidos en el estudio de corrosión, se pudo comprobar que existe una estrecha relación entre la temperatura y la velocidad de corrosión en el acero inoxidable 304 cuando es expuesto ante el LiCl, se observa que, en sus dos concentraciones al incrementar la temperatura la velocidad de corrosión es mayor lo que ocasiona corrosión localizada en forma de picadura, misma que se pudo comprobar con el estudio de microscopía electrónica. Además, las pruebas realizadas mostraron que se presenta mayor corrosión en la solución de menor concentración. Así mismo, con los resultados obtenidos en la espectroscopía de impedancia electroquímica, se pudo comprobar que la velocidad de corrosión que presenta el metal en $\frac{mm}{año}$ presenta valores pequeños de desgaste del orden de 10⁻⁵ por año.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Conahcyt por el apoyo económico brindado para este estudio. Al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas CIICAp-UAEM por las facilidades en el uso de las instalaciones.

Referencias.

- [1] BCS, Incorporated, waste heat recovery: technology and opportunities in U.S. industry, prepared for the U. S. Department of Energy, Industrial Technologies Program (March 2008).
- [2] M. O. Abdullah, T. C. Hieng, "Comparative analysis of performance and techno-economics for an H₂O-NH₃-H₂ absorption refrigerator driver by different energy source," Energy vol. 87, pp. 1535-1545, May 2010.
- [3] O. Kaynakli, M. Kilic "Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system", Energy Convers Manage vol. 48 pp. 599-607, 2007.
- [4] P. S. Arshi Banu, N. M. Sudharsan, "Review water-based vapour absorption cooling system using Thermodynamic analysis", Appl. Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 82 part. 3 pp. 3750-3761 February 2018.
- [5] E. D. Kerme, A. Chafidz, "Energetic and Exergetic Analysis of Solar-Powered Lithium Bromide - Water Absorption Cooling System", Journal Clean. Production vol. 151. pp. 60-73, May 2017.
- [6] R. Nikbakhti, X. Wang, "Absorption colling system – Review of various techniques for energy performance enhancement", Alexandria Engineering Journal vol. 59, pp. 707-738, April 2020.
- [7] E. A. Abd El Meguid, N. K. Awad, "Electrochemical pitting corrosion behaviour of α -brass in LiBr containing solutions", Corrosion Science vol. 51, pp. 1134-1139, May 2009.
- [8] Tao When, (2020). "Experimental study on the corrosion behavior and regeneration performance of KCOOH aqueous solution", Solar Energy vol. 201, pp. 638-648, May 2020.



[9] C Cuevas, "Cinéticas de corrosión del acero inoxidable SS-304 expuesto en una solución acuosa de bromuro de litio a bajas temperaturas", Revista Mexicana de Ingeniería Química vol. 5, pp. 27-45, January 2006.

[10] Na Li, "A working pair of $\text{CaCl}_2\text{-LiBr-LiNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ and its application in a single-stage solar-driven absorption refrigeration cycle", International Journal of Refrigeration vol. 86, pp. 1-13, February 2017.

[11] J. Uruchurtu and J. Ramírez-Reyes (2011, January 01) SN-978-3-8465-7546-5, Métodos experimentales en la ciencia de la corrosión. Impedancia Electroquímica, <http://www.researchgate.net/publication/27181470>



27 Comparativo del desempeño térmico de dos secadores tipo túnel con hibridación de tecnologías solares.

^aJahaziel Aaron Cano Carrillo, ^aMargarita Castillo Téllez, ^{a,c}Alfonso Lorenzo Flores, ^aAlejandra Castro Góngora, ^aJulio Gutiérrez González, Juan ^{a,b}Carlos Percino Picaso

^a *Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México*
^b *Investigador por México, CONAHCYT*

Resumen

El uso de secadores solares como alternativa a los métodos convencionales de secado ha ganado popularidad en los últimos años debido a su eficiencia energética y su bajo impacto ambiental. El presente artículo presenta los resultados del análisis del comportamiento térmico de dos secadores solares tipo túnel indirectos, el primero (SST1) construido como un prototipo para tomarlo de base para construcción del secador solar a mayor escala (SST2). Ambos se abastecen de inyección de aire caliente mediante colectores solares de aire, calentadores solares de agua y el sistema de bombeo se realiza mediante paneles fotovoltaicos. Se ubicaron sensores de temperatura en el compartimento inicial, en el medio y final de cada secador solar. En el caso del prototipo, al introducir aire caliente en la cámara de secado se obtienen temperaturas promedio de hasta un rango de entre 25 °C a 50 °C.

Los estudios experimentales se realizaron dentro de la Facultad de la Universidad Autónoma de Campeche, Campeche ubicada geográficamente al norte 20°50'54", al sur 17°48'46" de latitud norte, al este 89°07'16", al oeste 92°28'08" de longitud oeste del cual se destaca en un clima cálido-húmedo.

Introducción

La imperante necesidad de adecuarse a las tecnologías emergentes con miras al futuro se manifiesta de manera particular en el ámbito de los secadores solares. En este contexto, resulta esencial la optimización de su funcionalidad mediante la



aplicación de métodos idóneos para su eficiente manejo, procesamiento y conservación (García, V., & Bistoni, 2015).

Dentro de esta categoría de dispositivos, destaca la clasificación de secadores solares tipo túnel, los cuales representan una innovación significativa en el ámbito de la deshidratación de productos diversos, abarcando desde alimentos hasta materiales textiles. La diferenciación entre un modelo de gran tamaño y otro de dimensiones más reducidas emerge como una consideración clave en la conceptualización y desarrollo de estos sistemas (Castillo Téllez, et. al, 2022).

El secado solar proporciona una alta calidad del producto con mínimos impactos ambientales. Es un método eficaz, económico y seguro para la conservación de productos alimentarios. Existen diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar. A diferencia de fuentes de energía como los combustibles fósiles, que dependen de recursos limitados, la energía solar se recibe de forma natural en todo el planeta, y su uso no implica la destrucción del medio ambiente (Córdori, 2016).

Tipos de secadores Solares

En este trabajo se realiza un comparativo de Prototipo del secador solar tipo túnel y Secador solar tipo túnel a mayor escala del cual se destacan algunas de sus diferenciaciones donde se puede explicar de manera más adecuada a continuación.

- *Secador solar tipo túnel a mayor escala*

Dimensiones:

- Mayor longitud, anchura y altura en comparación con el modelo más pequeño.
- Puede abarcar una mayor superficie para permitir un mayor volumen de carga.

Capacidad de Carga:

- Diseñado para procesar grandes cantidades de productos al mismo tiempo.
- Puede albergar lotes de alimentos o materiales de mayor tamaño y en cantidades significativas.

Sistemas de Circulación de Aire:

- Puede contar con sistemas más complejos de circulación de aire para asegurar una distribución uniforme del calor en el interior del túnel.

Control Automatizado:

- Podría incorporar sistemas de control automático más avanzados para ajustar la temperatura y la velocidad del flujo de aire de manera eficiente.

Uso Comercial o Industrial:

- Adecuado para aplicaciones comerciales o industriales donde se requiere un secado a gran escala.



- **Prototipo del secador solar tipo túnel**

Dimensiones:

- Compacto y más fácil de instalar en espacios limitados.
- Adecuado para entornos domésticos, pequeñas explotaciones agrícolas o proyectos comunitarios.

Capacidad de Carga:

- Diseñado para procesar cantidades más pequeñas de productos a la vez, ideal para necesidades más modestas.

Simplicidad en el Diseño:

- Puede tener un diseño más simple y fácil de construir, con menor complejidad en los sistemas de circulación de aire y control de temperatura.

Portabilidad:

- Puede ser más fácil de mover o transportar, lo que lo hace adecuado para comunidades rurales o áreas donde se requiere movilidad.

Uso Residencial o Pequeña Escala:

- Apropiado para aplicaciones a nivel residencial, pequeñas granjas o proyectos comunitarios de menor escala.

Descripción de los prototipos experimentales

Prototipo del secador solar tipo túnel (SST1).- Este modelo sirve para pequeños emprendimientos industriales. Consiste en un túnel horizontal elevado con una base rígida de hierro, el túnel está dividido en sectores alternantes de colector solar y secador. El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresa por un extremo y sale por el otro, generalmente con la ayuda de un ventilador eléctrico. El prototipo es una construcción modular plana con marco rígido, compuesta de dos chapas, con una capa de aislante térmico. Esta estructura se coloca sobre caballetes. Las bandejas de secado son removibles y se pueden estirar lateralmente como los cajones de una cómoda. La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos.

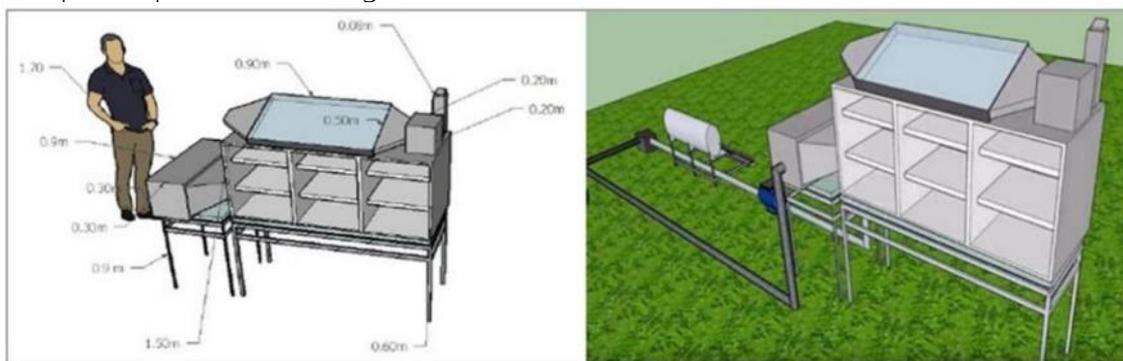


Ilustración 21 - Especificaciones técnicas del prototipo secador solar tipo túnel

Secador solar tipo túnel a mayor escala (SST2).- El secador de túnel es herméticamente sellado, está compuesto por 3 compuertas frontales y contiene 2



bandejas en cada sección las cuales tienen una malla metálica con la intención de soportar el flujo de aire caliente de manera uniforme, cada bandeja tiene una separación de 20 cm. La cámara de secado está conectada a un calentador solar de agua mediante una tolva, la cual impulsa aire precalentado al interior, sostenido por un intercambiador de calor; adicionalmente, la secadora lleva instalado en la parte superior un colector solar de aire, este colector consta de un ventilador que extrae el aire ambiente por su interior y lo dirige, con un aumento de temperatura, al interior de la cámara de secado.

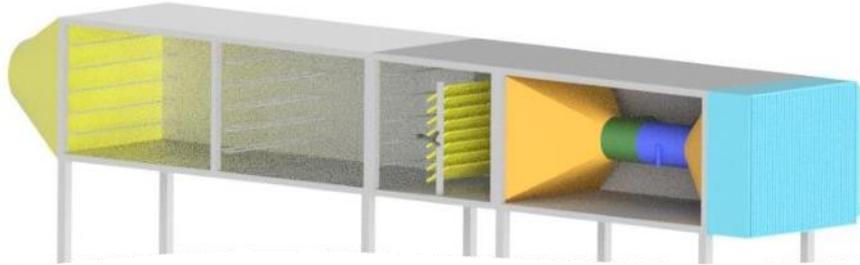


Ilustración 22 - Ensamblado y acoplamiento de las tres secciones del secador solar

Instrumentación y monitoreo de datos

Variable	Descripción	Modelo	Error Máximo
Radiación global	Piranómetro marca LI- COR	LI-200R	Azimut: $< \pm 1\%$ sobre 360° a 45° de elevación
Humedad relativa	NRG Systems	RH-5X	$\pm 3\%$



Temperatura ambiente	NRG Systems	110S	$\pm 1.1^{\circ}\text{C}$
Dirección del viento	NRG Systems	Series #200P	$\pm 3^{\circ}$
Anemómetro	Windsensor	P2546C-OPR	$\pm 0.3 \text{ m/s}$

Durante el período de pruebas se registraron los parámetros climatológicos en la estación meteorológica ubicada en la Facultad de Ingeniería de la UAC (Figura 1). Las características (datos del fabricante) son los mostrados en la Tabla 1:

Tabla 9 - Estación meteorológica instalada en la facultad de ingeniería



Ilustración 23 - Estación meteorológica instalada en la facultad de ingeniería Campeche,

Se diseñó y construyó un sistema automático para el monitoreo de datos relevantes. El objetivo de la instrumentación es medir y almacenar datos de humedad, temperatura, irradiancia. Estos datos son muy útiles para evaluar el rendimiento de secador solar y ayudarán a determinar las condiciones óptimas para el secado.

Resultados experimentales

Condiciones climáticas

La Figura 4 muestra el cambio en los parámetros climáticos durante el período de prueba con tres días soleados. Como se puede observar, se alcanzó una irradiancia solar global máxima de 952 W/m^2 , oscilando los valores máximos promedio entre 874 y 962 W/m^2 . La temperatura ambiente promedio varió de 30°C y $33,3^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura ambiente máxima promedio fue de $35,7^{\circ}\text{C}$. Por otro



lado, la HR mínima osciló entre 44 % y 46 Sistemas NRG Sistemas NRG %, la media máxima en los días de prueba osciló entre el 60 % y el 81 %

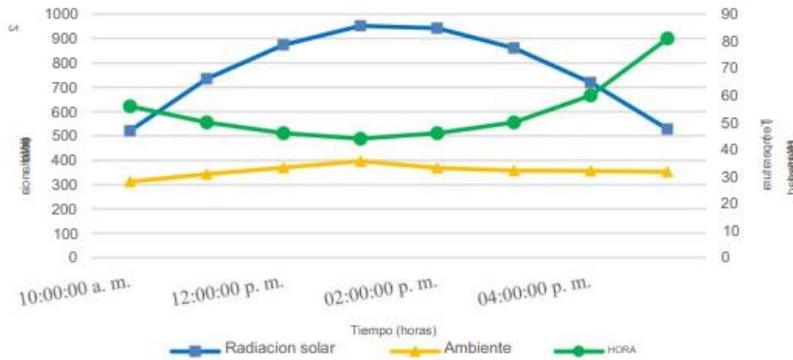


Ilustración 24 - Diferentes temperaturas en base a la estación meteorológica

- Temperaturas del Secador SST1 (Chico)

En el caso del SST1, la figura muestra el cambio en la irradiancia solar recibida, la temperatura ambiente y las variaciones de temperatura dentro de las cámaras de secado. También se midió que la temperatura interna osciló generalmente entre 50 °C y 55 °C, con un valor máximo de 59,4 °C.

La figura 5 muestra el efecto de la irradiación solar y la temperatura ambiente de la cámara de secado del secador de túnel, como se puede observar, la primera sección (la zona de entrada de aire precalentado tanto del calentador solar de agua como del colector de aire) alcanza una temperatura más alta. (51°C) que los dos tramos restantes, sin embargo, las temperaturas son muy similares, las temperaturas máximas en los 3 casos varían entre 48°C y 51°C.

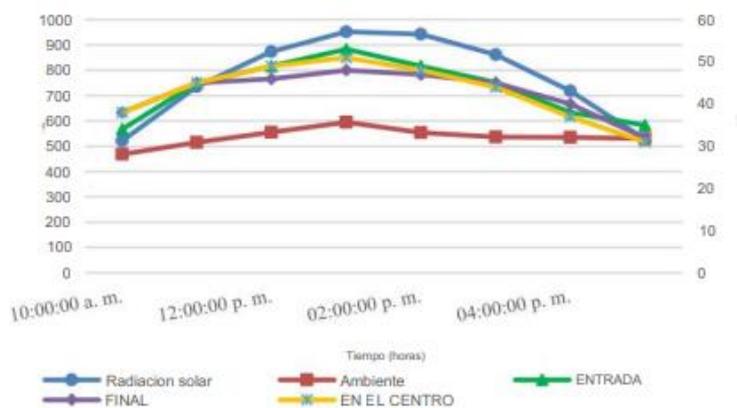


Ilustración 25 - Temperaturas del Secador SST1



Secador solar SST2 (Tipo túnel grande)

Se realizó una prueba sin producto durante un día y medio con sensores de temperatura, sensores de humedad y temperatura, se midieron 4 irradiancias en el mismo plano. Todo esto con el objetivo de medir la dispersión de los datos entregados por los sensores, ya que, en principio, deberían medir los mismos todos los sensores.

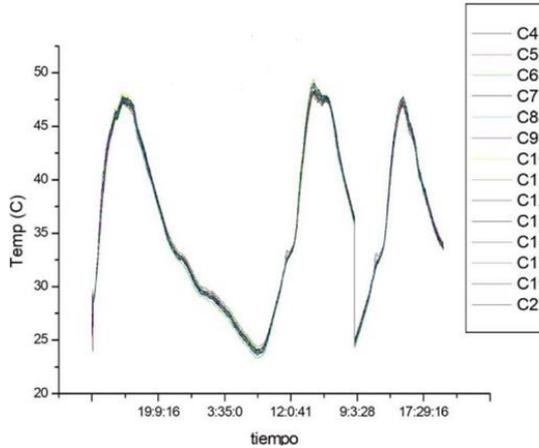


Ilustración 26 - Secador solar SST2

Se realizó una prueba de 37 horas, la dispersión de la temperatura fue menos de 0.5 grados centígrados para ambos tipos de sensores.

Conclusiones

Estos resultados obtenidos pueden ser favorecido para cualquier persona productora mexicana siendo que se demuestra la factibilidad del uso de energía solar y las tecnologías de secado evaluadas, para deshidratar productos ingresados en dichos secadores solares..

Tenemos por una parte que dentro de las temperaturas de SST1 tuvimos rangos de grados centígrados de entre 50 °C y 55 °C, por otro lado, tenemos dentro un rango de temperaturas para el SST2 rangos de grados centígrados de entre 25 °C y 48 °C.

Estos resultados se obtuvieron para estas condiciones climáticas para el estado de campeche, Campeche ubicada geográficamente al norte 20°50'54", al sur 17°48'46" de latitud norte, al este 89°07'16", al oeste 92°28'08"

Estos datos se recabaron con los dos secadores solares para tener en consideración su mayor eficiencia y a su vez tener en cuenta su rentabilidad para cualquier persona en el entorno en que se encuentre.

El secado solar de alimentos es una tecnología que puede representar un ahorro energético importante para la producción primaria del país.



Referencias

Iriarte, A., García, V., & Bistoni, S. (2015). Ensayos y simulación de un nuevo tendalero solar activo tipo túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 19, 29-38. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/1757>

Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Tibaduiza-Vianchá, C. A., & Sanz-Uribe, J. R. (2017). Construcción de secadores solares tipo túnel con nuevos materiales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1-8. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/view/294

Chauhan, PS, Kumar, A. y Gupta, B. (2017). Una revisión de los modelos térmicos para secadores de invernadero. *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, 75 (agosto), 548–558. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.023>

Condori, M. Á., Durán, G. J., Echazú, R., & Saravia, L. (2007). Ensayo y medición de un secador solar industrial tipo túnel en el norte argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/91927>

Condori, M. A. (2016). Secadores solares. *Energía Solar*, 77-87. https://ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/Energia_Solar.pdf#page=81

Elles, M. L. J. Construcción de un secador solar tipo túnel a partir del modelo. https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_32711.pdf

Castillo Téllez, M., Castillo Téllez, B., Mejía Pérez, G., Mex Álvarez, D. C., Hernández Cruz, L. M., & Gutiérrez González, J. (2022). Evaluación Térmica de un Secador Solar Tipo Túnel con Hibridación de Tecnologías Solares. *Ingenio Magno*, 13(2), 28 - 34. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2592>





28 Implementación de una Planta de secado solar como alternativa sustentable para las comunidades pesqueras del Estado de Campeche.

Alfonso Lorenzo-Flores ^{a*}, Juan. Percino-Picazo ^a, Margarita Castillo-Téllez ^a,
Carlos J Hernández Estrella ^a, José E Huichín Huichín ^a

^a *Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de ingeniería, Campeche, México.*

* Autor de correspondencia: Alfonso Lorenzo-Flores (alfonso.uac2023@gmail.com).

1 Resumen

La zona costera desempeña importantes servicios ambientales y es fuente de alimentos, productos naturales y actividades turísticas como medios de vida para la población que la habita. La pesca artesanal es una de las actividades económicas que predomina en la zona costera del Estado de Campeche, México. Actualmente estas comunidades pesqueras enfrentan el deterioro de su economía, debido a la sobreexplotación de especies de alta demanda comercial y la contaminación marina, por lo que el incremento del volumen de capturas no se considera como una alternativa que favorezca el desarrollo económico de las comunidades y las buenas prácticas pesqueras. En este trabajo se plantea como alternativa Sostenible la implementación de una planta de secado solar comunitaria para los productos de la pesquería artesanal. Esta alternativa coadyuva a alcanzar las metas de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas. La ejecución y puesta en marcha de la planta requiere del trabajo conjunto de la población, las autoridades locales y las instituciones académicas generadoras de nuevo conocimiento, para que se traduzca en bienestar social y contribuya a la reducción de la desigualdad en las comunidades pesqueras marginadas del Estado de Campeche.

Palabras clave: secado solar; comunidades pesqueras; Campeche.



2 Introducción

En zonas costeras del mundo se concentra más del 50% de la población humana y representan un 20% de la superficie del planeta, abastecen el 90% de las capturas mundiales y son el hábitat del 80% de las 13,200 especies de peces marinos conocidas lo que resalta la importancia social y económica de esta zona [1]. Los ecosistemas costeros como manglares, arrecifes y pastos marinos proporcionan significativos servicios ambientales. Una zona costera sostenible, además de servicios ambientales, aportar alimentos, productos naturales y medios de vida a través del turismo entre otros. La pesca representa una de las principales fuentes de proteínas para la alimentación de más de tres mil millones de personas en el mundo [1]. El aumento sostenido del consumo de productos pesqueros de alto valor comercial ha generado un incremento de los precios y al mismo tiempo ha incentivado la sobreexplotación de estos recursos. Por otro lado, aún persiste el problema de un alto porcentaje de volumen de captura que no se aprovecha que se traduce en pérdida económica para el pescador y también genera un problema de contaminación biológica.

El pescado posee un contenido de agua del 80% [2], por lo que, sin refrigeración, se descompone rápidamente por la acción bacteriana en presencia del agua. Existen distintos procesos tradicionales de conservación del pescado, como el salado, ahumado y secado, que alargan el tiempo de vida de anaquel, si alteran sustancialmente sus características alimenticias.

Actualmente, el secado solar es una alternativa sustentable, que contribuye a la reducción de la huella ambiental, frente al alto consumo de energía de los deshidratadores de alimentos que utilizan combustibles fósiles. El uso de tecnologías que hacen más eficiente el aprovechamiento de la energía solar, como los colectores solares y los paneles fotovoltaicos, facilitan la eliminación del contenido de agua del pescado en menor tiempo, sin modificar sus nutrientes, textura, sabor y su color [3].

La pesca artesanal comercial y de autoconsumo es la base de la economía local de comunidades de pescadores del estado de Campeche, que se caracteriza por utilizar instrumentos de pesca con poco desarrollo tecnológico. Estas comunidades resienten directamente el impacto del cambio climático, la contaminación continental y marina y la sobreexplotación de los recursos pesqueros. En este contexto, se requiere plantear opciones productivas sostenibles, que incidan positivamente en el nivel de vida de la población. Una de ellas es la incorporación de valor agregado a la pesquería de estas comunidades, mediante la preservación y aprovechamiento de especies de peces pequeños, algunos empleados solo como carnadas; los productos de capturas no deseados por su bajo valor comercial, debido a su tamaño o algún tipo de deterioro. También se incluyen las partes que se desechan y que representan más del 50% del peso del pescado, (cabeza, huesos, escamas, pieles y viseras) [1]. La inadecuada disposición de estos desechos puede dar lugar a contaminación biológica tanto, del suelo como del mar, a malos olores y a la reproducción de vectores portadores de enfermedades infecciosas. El objetivo del presente trabajo fue divulgar



la implementación de una planta comunitaria de secado solar, como alternativa de empleo y de ingresos económicos para los pescadores y su familia. Esta propuesta se sustenta en la utilización de fuentes de energía solar para la obtención de productos y subproductos del secado de pescado y sus partes no aprovechadas.

3 Desarrollo sostenible.

El concepto de Desarrollo Sostenible se utilizó por primera vez en el informe de Brundtland en el año de 1987[4]. Este informe asevera que la humanidad debe utilizar los recursos naturales hoy pensando en las generaciones futuras. Busca frenar el deterioro del medio ambiente, el frenar el agotamiento de los recursos naturales y a la contaminación ambiental, para que las generaciones venideras pueden gozar de sus beneficios. El Desarrollo Sostenible propone tres bases fundamentales; lo económico, lo social y lo ambiental. El 25 de septiembre de 2015, La Asamblea General de la ONU adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que consiste en un plan de acción a favor de las personas, el planeta y del bien común para fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Esta agenda incluye un conjunto de 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en el cercano 2030 [5].

4 Comunidades pesqueras en la Costa de Campeche.

En las comunidades pesqueras de la costa mexicana predomina la pesquería convencional [3]. Mas del 90 % de las embarcaciones pesqueras son catalogadas como flota de pequeña [6]. El estado de Campeche es uno de los diez estados con que más aporta a la producción pesquera nacional, se localiza al en la zona occidental de la península de Yucatán, cuenta con un litoral de 523 km [7]. Del porcentaje total de personas ocupadas en el estado Campeche, el 20.5 % se encuentra en el sector primario y de este, el 71.1 % pertenece a la actividad agrícola; el 20.5 % a la actividad pecuaria y solo el 8.4 % a la pesca. Las principales especies de su pesquería son el jurel, pulpo, jaiba y camarón siete barbas [8]. Las comunidades pesqueras de Campeche son diversas y se diferencian por la variedad de los instrumentos de pesca que utilizan, por el tipo de embarcaciones, las especies de interés y la diversidad de características geográficas, ambientales y socioeconómicas de cada región. Chan-González et al. [3], identificaron ocho comunidades pesqueras que denominaron sistemas socio-ecológicos: Isla Arena, Lerma, Seybaplaya, Champotón, Sabancuy, Isla Aguada, Carmen y Atasta. En la última década, la sobreexplotación del pulpo maya, caracoles, huachinango, pargo, lisa y mero ha afectado los ingresos de los pescadores. Debido a la sobreexplotación de especies de alta demanda comercial, el incremento



de las capturas no se considera como una vía que favorezca el desarrollo económico y social de las comunidades pesqueras.

5 Planta de secado solar

El prototipo de la planta de secado solar tipo invernadero fue desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la UACAM y consta de los siguientes componentes: Cámara de secado tipo invernadero, un campo de colectores solares aire de MS 1.75 HVA AIRE de la empresa MODULO SOLAR conectados en paralelo y en superficie inclinada, un tanque de almacenamiento térmico y un sistema auxiliar basado en energía fotovoltaica y banco de baterías para la operación sin conexión a la red eléctrica del inyector de aire.

El diseño y la implementación de la planta de secado solar tiene como eje rector el concepto de desarrollo sostenible y los 17 objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030 [4]. Hace compatible las actividades humanas y la preservación de la biodiversidad de los ecosistemas. Procura evitar el agotamiento de los recursos no renovables y la generación de residuos y emisiones contaminantes. Cuida el mantenimiento del tejido social, mediante de la construcción de una conciencia colectiva, donde la gente se preocupe por la educación, la salud, la paz y la tranquilidad de la comunidad actual y venidera. Una de las metas de la planta de secado solar es generar riqueza económica a nivel local, que influya regional y globalmente, sin detrimento de los recursos naturales y su conservación. La Figura 1 muestran los tres cimientos del desarrollo sustentable de la planta de secado: sociedad, economía y cuidado al medio ambiente.



Figura 1. Componentes de sustentabilidad de la planta de secado

La Tabla 1 resume las aportaciones de la planta comunitaria de secado solar para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.



Tabla 1. Objetivos del Desarrollo sostenible y la planta de secado solar. Adaptado de [4].

Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)	Aportaciones de la planta de secado solar para alcanzar los ODS
Abatir la pobreza	Ofrece una opción (oportunidad económica) de ingresos para mujeres, adultos mayores y personas con capacidades diferentes
Eliminar el hambre	Incide en la transformación de los sistemas alimentarios, al promover el cuidado y la preservación de alimentos que se descomponen rápidamente
Garantizar una vida saludable y promover el bienestar	Busca convertir en materia prima las partes del pescado que no se aprovechan, contaminan y pueden afectar la salud de la población
Lograr la igualdad entre todos y cada uno de los seres humanos	Promueve la no discriminación a través de la participación de hombres y mujeres en los trabajos de la planta de secado, sin distinción de género, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor
Garantizar la disponibilidad de agua, su saneamiento y gestión sostenible para todas las personas y en todos los rincones del planeta.	Promueve el cuidado del agua: utiliza un sistema de captación de agua de lluvia y reutiliza el agua del proceso en riego de árboles frutales
Garantizar el acceso a energía moderna, sostenible, asequible y segura.	Promueve el uso de energía solar (renovable, limpia, gratuita y amigable con ambiente)
Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.	Es una fuente de trabajo digno, seguro y sin riesgos para la comunidad pesquera desempleada o no. Promueve la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación
Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.	Incide en la reducción de las emisiones de carbono, la eficiencia energética y la adición de valor agregado a los productos básicos
Reducir la desigualdad.	Promueve la inclusión social, la igualdad de ingresos y oportunidades entre hombres, mujeres, adultos mayores y personas con capacidades diferentes a través de una fuente de empleo
Lograr ciudades más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.	Promueve la protección y salvaguarda del patrimonio cultural y natural de la comunidad pesquera, a través del uso de energía renovables que mitigan el cambio climático por el uso de combustibles fósiles
Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	Tiene como meta hacer más con menos, reducir el desperdicio de alimentos a través del secado solar del pescado, promueve la producción de alimentos sanos
Adoptar e implementar acciones urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.	Coadyuva en la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) al no utiliza combustibles fósiles.
Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos.	Promueve el uso de buenas prácticas pesqueras y previene busca abatir la contaminación y a la acidificación de los océanos que deterioran las aguas costeras



Son trece los objetivos de desarrollo sostenible que atiende de forma directa la implementación de la planta de secado comunitaria, sin embargo los cuatro restantes: educación inclusiva; la gestión sosteniblemente de los bosques; la promoción de sociedades justas y la revitalización de la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, se ven atendidos de forma indirecta como efecto del trabajo global armónico de la planta de secado solar.

6 Conclusiones.

La implementación de una planta de secado solar en las comunidades pesqueras de Campeche es una opción sostenible que requiere del trabajo conjunto de la población, las autoridades locales y el acompañamiento de las instituciones académicas que desarrollan estas tecnologías, para que la suma de esfuerzos se traduzca en bienestar social y la reducción de la desigualdad en las comunidades pesqueras marginadas.

7 Agradecimientos.

Gradecemos el apoyo en la elaboración de este trabajo a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche a través del Proyecto PRONACE FOP04-2021-03-319524 "Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales" y al CONAHCYT por la beca de estancia posdoctoral otorgada.

8 Referencias:

- [1] FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.4060/cc0461es>.
- [2] D. Dilip, and P. B. Pathare "Study the Drying Kinetics of Open Sun Drying of Fish." *Journal of Food Engineering* 78 (4), 2007. 1315–19. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.044>.
- [3] J. de J. Chan- González, M. Castillo-Téllez, B. Castillo-Téllez, G. A Mejía-Pérez,., C. J. Vega-Gómez, "Improvements and Evaluation on Bitter Orange Leaves (Citrus Aurantium L.)." *Sustainability*. 2021. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13169393>.
- [4] La Agenda para el Desarrollo Sostenible. ONU. [Consulta 20-09-2023]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
- [5] ONU. Asamblea General de las Naciones Unidas, "Desarrollo sostenible" (2015) (Consulta octubre, 2023), [En línea]. Disponible en <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [Consulta 24-09-2023]. www.inegi.org.mx/inegi/acercade.html



- [7] M. Botello- Ruvalcaba, R. Villaseñor-Talavera, S. Mezo- Villalobos, "Ordenamiento pesquero ribereño marino: Informe de ejecución 2010, Ciudad de México" Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (eds.) (2010).
- [8] A. Peña-Puch, J. C. Pérez-Jiménez, A. Munguía-Gil, A. Espinoza-Tenorio, "Sistemas socio-ecológicos como unidad de manejo: el caso de las pesquerías de Campeche, México". *Economía, sociedad y territorio*, 21(65), 113-145. 06 de mayo de 2021[En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.22136/est20211601>





29 Aprovechamiento de Residuos de Pescado para la Obtención de Subproductos Usando Tecnología Solar - Caso Actual de México

Juan C. Percino-Picazo^{a*}, Alfonso Lorenzo-Flores^a y Margarita Castillo-Téllez^a

^aFacultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México

*Autor de correspondencia: Juan C. Percino-Picazo (jcpercino@gmail.com).

1 Resumen

Los residuos orgánicos, en especial los de pescado, representan un problema ambiental y de salud pública. En México, se estima que se producen alrededor de 2 millones de toneladas de residuos de pescado al año, de los cuales solo se aprovecha un pequeño porcentaje. La investigación en el manejo sustentable de residuos de pescado es importante para reducir su impacto ambiental y generar beneficios económicos y sociales. A nivel internacional, se han desarrollado tecnologías para el aprovechamiento de estos residuos para la producción de biofertilizantes, alimento para ganado, biocombustibles, entre otros. En México, la investigación en este tema es incipiente. En este trabajo se desarrolla un estudio extensivo de la caracterización de residuos de pescado, las principales tecnologías de procesamiento y el estado actual del uso de las técnicas de secado solar para residuos pesqueros en México.

Palabras clave: Residuos de pescado; Manejo de residuos; Secado de residuos.

2 Introducción

La industria pesquera y acuícola forman parte medular de la seguridad alimentaria a nivel mundial, en 2020 alcanzó una producción de 178 millones de toneladas, y se estima que siga creciendo a una tasa de 3.3% anual [1]. Se estima que México contribuye con 1.7% respecto a la captura mundial de pescado, muy por debajo de países como Perú (7.1%), Estados Unidos (5.3%) y Chile (2.2). La Organización de alimentos y agricultura de las naciones unidas (FAO, por sus siglas en inglés) estima que, el consumo de pescado mantenga su crecimiento en los



próximos años, por lo que ha recomendado tomar acciones para transformarlo al sector en un sector sustentable, responsable con la preservación de ecosistemas marinos, reducir la contaminación de los procesos pesqueros y acuícolas y promover la equidad social. [1], [2].

Sin embargo, un desafío emergente es la cantidad de desperdicio y descarte de pescado. Se sabe que alrededor del 20% de la captura se descarta o no llega al consumidor final, mientras que del resto de pescado procesado hasta 70% se convierte en desecho (agallas, vísceras, espina, entre otros) [3].

Es importante mencionar que, los procesos de pesca no sustentables han contribuido a la sobreexplotación, destrucción del hábitat, contaminación por tratamiento no adecuado de los residuos de pesca y residuos de proceso, como el agua de lavado [4]. Estos residuos, si se manejan adecuadamente, podrían ser una fuente de subproductos valiosos, como aceite de pescado, aplicaciones farmacéuticas, silaje de pescado, alimento para especies menores y alimento para la misma acuicultura.

Por otro lado, el desarrollo de la tecnología termo solar para aplicaciones de secado de productos orgánicos ha tomado cada vez más relevancia. El uso de tecnologías de almacenamiento de energía térmica, la incorporación de ventilación forzada y el desarrollo de secadores solares híbridos. Han permitido mejorar la eficiencia y la productividad del secado solar, lo que lo hace más competitivo con otros métodos de secado [5], [6].

En la literatura existen trabajos acerca del aprovechamiento de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado, sin embargo, el aprovechamiento de las tecnologías termo solares para secado de pescado y residuos de pescado han sido poco estudiadas por lo que resulta de gran interés explorar este nicho de oportunidad. En el secado de pescado y residuos de pescado, el uso de estas tecnologías puede mejorar la calidad del producto final, reduciendo el riesgo de contaminación y deterioro. Además, el secado solar es una técnica sostenible que no requiere el uso de combustibles fósiles, lo que lo convierte en una opción atractiva para la conservación de pescado en zonas remotas o con recursos limitados [7], [8].

En este trabajo se presenta una revisión de la literatura del manejo de residuos de pescado y su utilización para la creación de subproductos. Se analiza el caso mexicano, mostrando sus principales áreas de oportunidad, en específico para la aplicación de tecnología termosolar para la obtención de subproductos.

3 Clasificación de Residuos de Pescado

Según la FAO, el porcentaje de desecho, desperdicio y descarte de pescado en las técnicas de pesca actuales se estima en un 70%. De este porcentaje, el 40% corresponde a desechos, el 15% a desperdicios y el 15% a descartes.



Los desechos son los componentes del pescado que no son comestibles, como las escamas, las espinas, las aletas, la cola, la cabeza, la piel, las vísceras, agallas entre otros. Estos componentes representan el 70% del total del pescado capturado. Los desperdicios son los componentes del pescado que son comestibles, pero que se pierden o se desperdician durante el procesamiento o el almacenamiento. Estos componentes representan el 10% del total del pescado capturado. Los descartes son los peces que se capturan accidentalmente y que no tienen valor comercial. Estos peces representan el 20% del total del pescado capturado.

Tabla 10. Principales subproductos del pescado, adaptado de [9], [10].

Subproducto	Participación (%)
Filete	36.9
Espina	15.3
Cabeza	21.5
Aleta	6.1
Hueva de pescado	4.2
Hígado	5.1
Resto de vísceras	7.7
Piel	3.2
Total	100

Los porcentajes presentados en la Tabla 10 varían de acuerdo con la especie capturada y la técnica de pesca, industriales o artesanales.

Además de los porcentajes mencionados anteriormente, es importante tener en cuenta que el desecho, el desperdicio y el descarte de pescado pueden variar en función de la especie, el tamaño, la calidad y el método de pesca. Por ejemplo, los peces pequeños y de baja calidad suelen tener un porcentaje de desecho más alto que los peces grandes y de alta calidad. Asimismo, los métodos de pesca que utilizan redes de arrastre suelen tener un porcentaje de descarte más alto que los métodos de pesca que utilizan anzuelos y líneas.

El desecho, el desperdicio y el descarte de pescado son un problema importante que tiene un impacto negativo en la sostenibilidad de la pesca y en la seguridad alimentaria. Para reducir este problema, es necesario desarrollar tecnologías y prácticas que permitan aprovechar al máximo el pescado capturado.

4 Subproductos y Aplicaciones

Los residuos de pescado son una fuente valiosa de nutrientes y compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados para la producción de una amplia gama de productos, incluidos alimentos para humanos y animales, biofertilizantes y biocombustibles.



Los residuos de pescado, que incluyen escamas, espinas, cabeza, piel y vísceras, son una fuente importante de proteínas, ácidos grasos omega-3, vitaminas, minerales y antioxidantes. Estos nutrientes y compuestos bioactivos tienen un valor económico y pueden utilizarse para producir una variedad de productos con aplicaciones en la industria alimentaria, la agricultura y la medicina.

Los procesos más importantes para la obtención de estos subproductos incluyen el secado, la molienda y la extracción. El secado es un proceso que reduce el contenido de humedad de los residuos de pescado, lo que facilita su almacenamiento y transporte. La molienda reduce los residuos de pescado a un tamaño más pequeño, lo que facilita la extracción de los nutrientes y compuestos bioactivos. La extracción es un proceso que permite separar los nutrientes y compuestos bioactivos de los residuos de pescado.

El secado solar es una tecnología sostenible que puede utilizarse para secar los residuos de pescado sin necesidad de utilizar combustibles fósiles. El secado solar tiene una serie de ventajas sobre los métodos tradicionales de secado, como el uso de energía renovable, la reducción de los costes de producción y la mejora de la calidad de los productos.

El aprovechamiento de los residuos de pescado es una oportunidad para reducir el desperdicio de alimentos, mejorar la sostenibilidad de la industria pesquera y generar nuevas fuentes de ingresos para las comunidades costeras.

5 Técnicas de Secado Solar para Productos Pesqueros

Las técnicas de secado solar han evolucionado para ofrecer soluciones eficientes y sostenibles en la conservación de alimentos y otros materiales. El secado solar directo, que aprovecha la radiación solar para deshidratar productos, es ideal en regiones con alta incidencia de sol. Su aplicación es extensa, abarcando desde frutas y verduras hasta productos marinos. Aunque su eficiencia depende de factores ambientales, supera a los métodos tradicionales que requieren combustibles fósiles, ofreciendo una alternativa libre de emisiones y económicamente viable [11].

El secado solar indirecto, donde el aire se calienta en un colector solar antes de pasar por el producto, permite un control más preciso de la temperatura y la humedad, resultando en una calidad superior del producto final. Este método es eficiente incluso en días nublados, siendo aplicable a la deshidratación de hierbas, especias y pétalos de flores, donde es crucial preservar los compuestos volátiles. Los secadores solares mixtos, que combinan los métodos directos e indirectos, son particularmente beneficiosos para productos como los subproductos de residuos de pescado, donde se requiere mantener un bajo contenido de humedad para preservar la calidad.

Para garantizar la continuidad del proceso de secado frente a la variabilidad de las fuentes de energía como la solar, se han desarrollado los secadores híbridos. Estos sistemas utilizan fuentes de respaldo como combustibles fósiles, electricidad,



biomasa, energía geotérmica, bombas de calor o incluso energía eólica o hidroeléctrica para mantener las condiciones óptimas de secado. La integración de estas fuentes de respaldo en el diseño de secadores solares híbridos asegura la eficiencia y confiabilidad del proceso, lo que es crucial en aplicaciones donde la ventana de tiempo para el secado es limitada y la calidad del producto no puede comprometerse. Estos sistemas híbridos son una solución robusta para el secado de subproductos de residuos de pescado, permitiendo una producción continua y de alta calidad, independientemente de las fluctuaciones climáticas [8].

6 Manejo de residuos pesqueros en México

En el caso mexicano, la implementación de procesos para el rescate y valorización de los residuos de pescado aún es incipiente. Existe investigación acerca de la normatividad en el manejo de los residuos pesqueros, sin embargo, la investigación se centra en limitar la depredación de las distintas especies de captura [12]. García-Sifuentes et al, realizan una investigación de los compuestos aprovechables de los residuos de pescado, como colágeno, lípidos y proteínas [13]. Jiménez et al. realizan un estudio del tratamiento de residuos de pescado en Alvarado, Ver. y proponen harina de pescado y aceite de pescado como subproductos [14]. Existe bibliografía de secado solar de productos del mar, sin embargo, en México no se encontraron referencias acerca de la utilización de tecnología termosolar para la obtención de subproductos de residuos de pescado.

7 Áreas de oportunidad

Se ha visto que los trabajos de investigación tienen enfoques muy diversos, tratándose del manejo de residuos pesqueros. Algunas áreas de oportunidad como futuro trabajo son:

1. Examinar el marco regulatorio actual en México respecto al manejo de residuos y cómo podría evolucionar para fomentar el uso de tecnologías sustentables para la obtención de subproductos.
2. Evaluar el impacto ambiental y social del manejo inadecuado de residuos de pescado y cómo la tecnología termosolar puede contribuir a mitigar estos problemas.
3. Realizar un análisis económico que compare el secado solar frente a los métodos convencionales, incluyendo la amortización de la inversión inicial y los ahorros a largo plazo.

8 Conclusiones

En conclusión, el aprovechamiento de los residuos de pescado mediante la tecnología de secado solar representa una oportunidad significativa para México, tanto en términos de gestión ambiental como de desarrollo económico. La adopción de estas tecnologías no solo puede mitigar el impacto ambiental de los residuos



orgánicos, sino que también puede generar subproductos de valor agregado, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al sustento de las comunidades costeras. Las recomendaciones propuestas, que incluyen la inversión en investigación y desarrollo tecnológico, el apoyo gubernamental a través de políticas incentivadoras y la formación de trabajadores, son pasos esenciales hacia la transformación de la industria pesquera en una más sostenible y responsable. Al implementar estas medidas, México puede establecer un modelo de economía circular en la industria pesquera, alineándose con la visión sustentable de países desarrollados y fortaleciendo su posición en el mercado global.

9 Referencias

- [1] FAO, "The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation.," FAO, Jun. 2022. doi: 10.4060/cc0461en.
- [2] CONAPESCA, "Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024," 2020. Accessed: Oct. 23, 2023. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616554/PROGRAMA_Nacional_de_Pesca_y_Acuicultura_2020-2024baja.pdf
- [3] D. Coppola, C. Lauritano, F. Palma Esposito, G. Riccio, C. Rizzo, and D. de Pascale, "Fish Waste: From Problem to Valuable Resource," *Mar Drugs*, vol. 19, no. 2, 2021, doi: 10.3390/md19020116.
- [4] S. Zhou, A. D. M. Smith, and E. E. Knudsen, "Ending overfishing while catching more fish," *Fish and Fisheries*, vol. 16, no. 4, pp. 716–722, 2015, doi: <https://doi.org/10.1111/faf.12077>.
- [5] H. S. EL-Mesery, A. I. EL-Seesy, Z. Hu, and Y. Li, "Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 157, p. 112070, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112070>.
- [6] A. Kamarulzaman, M. Hasanuzzaman, and N. A. Rahim, "Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review," *Solar Energy*, vol. 221, pp. 559–582, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.056>.
- [7] P. R. Chanda, B. Podder, A. Biswas, and A. R. Sengupta, "Advancements in solar assisted drying technologies: A comprehensive review post 2017," *J Stored Prod Res*, vol. 104, p. 102190, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102190>.
- [8] N. M. Ortiz-Rodríguez, M. Condorí, G. Durán, and O. García-Valladares, "Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale," *Appl Therm Eng*, vol. 215, p. 118993, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>.



- [9] R. Thirukumar, V. K. Anu Priya, S. Krishnamoorthy, P. Ramakrishnan, J. A. Moses, and C. Anandharamakrishnan, "Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies," *Chemosphere*, vol. 299, p. 134361, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134361>.
- [10] G. Caruso, R. Floris, C. Serangeli, and L. Di Paola, "Fishery Wastes as a Yet Undiscovered Treasure from the Sea: Biomolecules Sources, Extraction Methods and Valorization," *Mar Drugs*, vol. 18, no. 12, 2020, doi: 10.3390/md18120622.
- [11] S. K. Natarajan, E. Elangovan, R. M. Elavarasan, A. Balaraman, and S. Sundaram, "Review on solar dryers for drying fish, fruits, and vegetables," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 27, pp. 40478–40506, 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19714-w.
- [12] A. Hernandez and W. Kempton, "Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation," *Ocean Coast Manag*, vol. 46, no. 6, pp. 507–526, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00032-2).
- [13] C. O. García-Sifuentes, S. M. Scheuren-Acevedo, and J. C. Zamorano-Apodaca, "Exploring different by-products considered as residues by the fishery industry in México," *Biocencia*, vol. 22, no. 2, pp. 61–69, 2020.
- [14] G. del C. Jiménez Gómez, L. Martínez Lara, and M. Martínez Valenzuela, "Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado," *Ingeniantes*, vol. 9, no. 1, p. No. 1-Vol 1, 2022. Accessed: Oct. 24, 2023. [Online]. Available: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes9no1vol1/1%20Categorizacion%20de%20residuos%20de%20pescado.pdf>





30 Análisis del comportamiento térmico de un secador tipo túnel con hibridación de tecnología solar

Carlos Javier Hernández Estrella^{a*}, José Eduardo Huchín Huchín^b, Margarita Castillo Téllez^b, Beatriz Castillo Téllez^b, Erick López Vidaña^b.

^a *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campus V, predio s/n por Av Humberto Lanz Cárdenas y Unidad Habitacional Ecológica Ambiental, Col. Ex Hacienda Kalá, C.P. 24085, San Francisco de Campeche, Campeche, México. (981) 811 9800*

^b *Centro Universitario Del Norte, Universidad de Guadalajara. Carretera Federal No. 23, Km. 191, C.P. 46200, Colotlán, Jalisco, México. (499) 9921333.*

*autor de correspondencia, al042822@uacam.mx

1 Resumen

El secado de alimentos es un método de preservación de alimentos, en el que se inhibe el crecimiento de bacterias, hongos, gérmenes, etc. a través de la remoción de agua mediante el proceso de evaporación. El secado de alimentos demanda un alto consumo de energía, debido al calor latente de cambio de fase requerido para evaporar el agua contenida en los productos y a la baja eficiencia de los secadores industriales actuales. La energía requerida para realizar el proceso de secado puede ser del orden del 10 al 20 % del consumo total de energía del proceso, por tal razón el uso de energía solar en aplicaciones de secado resulta atractivo y podría tener un gran potencial, disminuyendo el consumo de energía convencional hasta en un 80% de la energía total utilizada en dichos procesos. se realizó la evaluación del secador aplicando el intercambiador de calor aire-agua, contando con diferente temperaturas en un proceso sin carga térmica (sin producto) , se realizó con el fin de evaluar las temperaturas y la frecuencia en que debe trabajar el secador de manera óptima y sin sobrecalentar el sistema y tener mejores resultados en los productos que queremos secar, al igual se realizó el secado con los colectores de aire para hacer la



comparativa de el secado térmico con los colectores de aire y el intercambiador de calor aire-agua y determinar cuál de los métodos tiene mejores resultados y la mejor eficiencia al momento de realizar el secado de productos.

Palabras clave: secado solar tipo túnel, hibridación de tecnología solar, comportamiento térmico.

2 Evaluación térmica del deshidratador solar sin producto

Una vez construido y ensamblado el secador solar para productos pesqueros, con todos sus componentes y sistemas auxiliares, se realizó una evaluación experimental para evaluar el funcionamiento del secador sin carga térmica (sin producto en su interior). La evaluación se llevó a cabo de dos modos de operación y bajo condiciones controladas.

La primera forma de evaluación del secador solar fue empleando el sistema solar térmico con almacenamiento de energía, empleando el agua caliente almacenada y circulándola a través del intercambiador de calor agua-aire, haciendo pasar aire a temperatura ambiente con el ventilador-extractor para ingresarlo al secador solar de manera indirecta.

La segunda forma segunda forma de evaluación fue empleando el sistema solar térmico de calentamiento de aire directo, esto se realizó haciendo circular aire a temperatura ambiente a través del arreglo de colectores solares de aire, utilizando el ventilador-extractor para que de manera directa ingrese el caudal de aire caliente al secador solar.

El diseño de experimentos que se desarrolló para la evaluación térmica del secador solar del primero modo descrito, consistió en operar el secador circulando agua caliente en un intervalo de temperaturas de operación a la entrada del intercambiador de calor agua-aire de 60° a 80° C, con un flujo másico de agua caliente promedio de 20.1 kg/min, para determinar la temperatura del aire a la entrada y la salida del secador, variando el caudal volumétrico de aire en porcentajes de 15, 30, 45 y 60 % de la frecuencia del inversor del ventilador-extractor.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del secador solar sin carga térmica realizada empleando el sistema solar de



calentamiento de agua con almacenamiento térmico y el intercambiador de calor agua-aire.

Variables fijas controladas	Temperatura del agua a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, agua}$) = 60.3 °C Temperatura del aire a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, aire}$) = 30.2 °C Flujo másico de agua (\dot{m}_{agua}) = 20.0 kg/min				
	15 Hz	30 Hz	45 Hz	60 Hz	
Frecuencia del inversor	Valor	Valor	Valor	Valor	Unidades
Temperatura del agua a la salida del intercambiador de calor ($T_{s, agua}$)	34.5	37.2	38.4	39.0	[°C]
Temperatura del aire a la entrada del secador solar ($T_{e, aire, ss}$)	58.4	57.1	56.9	54.1	[°C]
Temperatura del aire a la salida del secador solar ($T_{s, aire, ss}$)	51.1	49.1	48.9	46.1	[°C]
Caudal volumétrico del aire (V_{aire})	44.2	99.4	147.9	199.7	[m ³ /h]

Tabla 11. Tabla de temperaturas de intercambiador de calor agua-aire a 60.3°C.

Variables fijas controladas	Temperatura del agua a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, agua}$) = 69.2 °C Temperatura del aire a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, aire}$) = 30.2 °C Flujo másico de agua (\dot{m}_{agua}) = 20.1 kg/min				
	15 Hz	30 Hz	45 Hz	60 Hz	
Frecuencia del inversor	Valor	Valor	Valor	Valor	Unidades
Temperatura del agua a la salida del intercambiador de calor ($T_{s, agua}$)	34.8	35.1	36.0	36.8	[°C]
Temperatura del aire a la entrada del secador solar ($T_{e, aire, ss}$)	67.7	66.5	64.1	63.3	[°C]
Temperatura del aire a la salida del secador solar ($T_{s, aire, ss}$)	58.9	57.3	56.2	55.4	[°C]
Caudal volumétrico del aire (V_{aire})	42.1	98.1	147.5	199.4	[m ³ /h]

Tabla 12. Tabla de temperaturas de intercambiador de calor agua-aire a 69.2°C.

Variables fijas controladas	Temperatura del agua a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, agua}$) = 80.1 °C Temperatura del aire a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e, aire}$) = 30.2 °C Flujo másico de agua (\dot{m}_{agua}) = 20.0 kg/min				
	15 Hz	30 Hz	45 Hz	60 Hz	
Frecuencia del inversor	Valor	Valor	Valor	Valor	Unidades
Temperatura del agua a la salida del intercambiador de calor ($T_{s, agua}$)	44.1	44.9	45.4	46.0	[°C]
Temperatura del aire a la entrada del secador solar ($T_{e, aire, ss}$)	78.2	77.5	76.1	75.2	[°C]
Temperatura del aire a la salida del intercambiador de calor ($T_{s, aire, ss}$)	68.5	67.1	66.5	65.2	[°C]
Caudal volumétrico del aire (V_{aire})	41.8	97.2	150.1	199.5	[m ³ /h]

Tabla 13. Tabla de temperaturas de intercambiador de calor agua-aire a 80.1 °C.

En la Tabla 14 se muestran los resultados de la evaluación del secador solar para secado de productos pesqueros, operando en el modo dos, utilizando el sistema solar térmico de calentamiento de aire directo.



Variables ambientales	Temperatura del aire a la entrada del intercambiador de calor ($T_{e,aire}$) = 32.1 °C Irradiancia solar promedio (I_{sp}) = 8209 W/m ²				
Frecuencia del inversor	15 Hz	30 Hz	45 Hz	60 Hz	
Variable medida	Valor	Valor	Valor	Valor	Unidades
Temperatura del aire a la entrada del secador solar ($T_{e,aire,ss}$)	61.5	58.7	56..1	54.2	[°C]
Temperatura del aire a la salida del secador solar ($T_{s,aire,ss}$)	58.5	55.1	53.2	51.9	[°C]
Velocidad del aire (\dot{v}_{aire})	2.4	5.1	7.7	10.4	[m/s]

Tabla 14. Tabla de temperaturas de intercambiador de calor de aire directo.

En la Ilustración 27, se puede observar el diagrama de operación del secador solar tipo túnel.

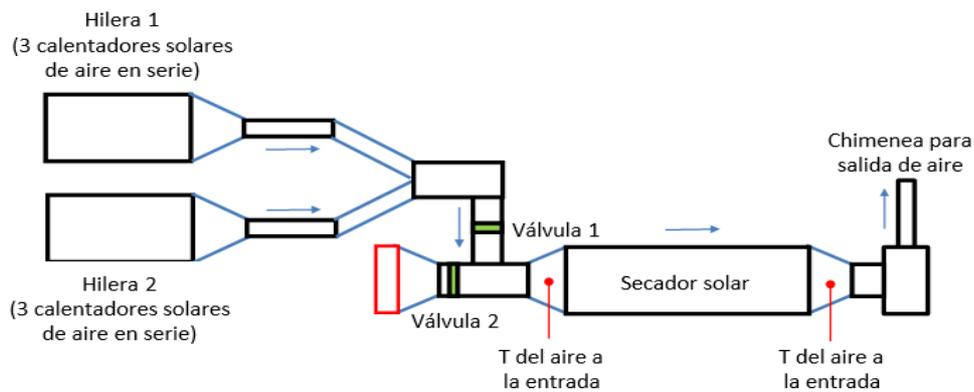


Ilustración 27. Diagrama de operación del secador solar tipo túnel.

3 Descripción del funcionamiento del secador

El secado de productos alimenticios es un proceso de gran importancia ya que por medio de este se preserva la calidad del alimento, se facilita su almacenamiento y transporte, además de dar valor agregado a los productos[1]. Tradicionalmente, el secado con energía solar es uno de los procedimientos técnicos más usados en la conservación de alimentos, ya que debido a su disponibilidad se disminuyen costos por consumo de energía[2]. En términos generales, las plantas de secado solar (Ver Ilustración 27) están constituidas por: (i) una cámara de secado donde se coloca el producto a deshidratar; (ii) un canal para conducción de aire caliente integrado por uno o más dispositivos conocidos como colectores solares, que puede estar o no inclinado y es donde interactúan directamente la radiación; (iii) ventilas, hoyos u orificios donde penetre el aire frío para ser calentado; (iv) así como chimenea o ducto para la salida del aire caliente.

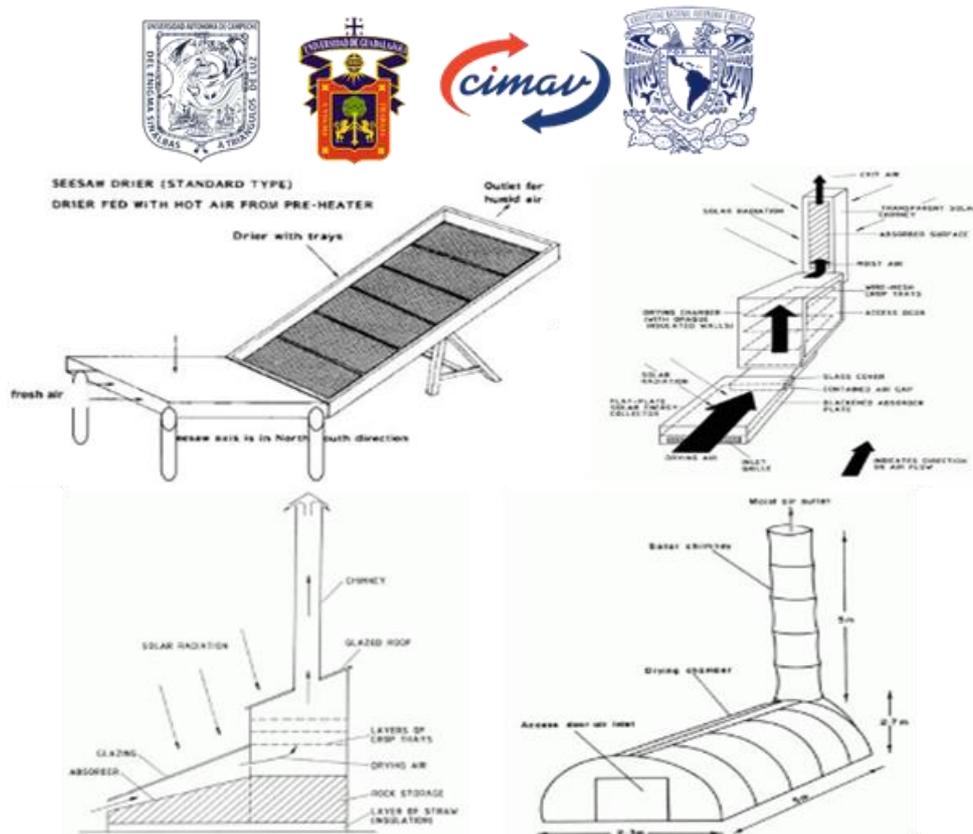


Ilustración 28. Diagrama técnico de algunos modelos de secadores solares que muestran los elementos más representativos en este tipo de sistemas [3].

4 Relación de la frecuencia con la temperatura y velocidad del secador

Para aumentar o disminuir la velocidad del aire a la salida del secador se debe modificar la frecuencia (Hz) y según esta, sea mayor o menor, se observa también un aumento o disminución de la temperatura dentro del secador. Según las especificaciones técnicas, el secador tiene la capacidad de alcanzar de 50-60 Hz de frecuencia que resultan de 10 m/s a 13 m/s de velocidad a la salida del secador. Para conocer a detalle esta varianza y obtener una relación entre la frecuencia y el aumento de velocidad y temperatura, se obtuvieron primero las características del motor:

Características del motor	
Potencia:	1 hp
Voltaje	220-440
Hz	60
RPM	1750
Flujo de aire	2978 m ³ /h
Fases	3
Marca	Air Technology
Modelo	CFD-9

Tabla 15 características del motor



El día 11 de noviembre de 2022, con el objetivo de analizar el comportamiento del secador, se realizó un análisis haciendo uso de un anemómetro colocado en la salida de aire del secador solar que permitió obtener los datos de velocidad y temperatura a medida que se modificaba la frecuencia desde el panel de control. El cálculo se realizó variando la frecuencia en múltiplos de dos, iniciando en 2 Hz y continuando con esta secuencia hasta alcanzar la frecuencia máxima, que en este caso fue de 50 Hz. De igual forma se utilizó un amperímetro de gancho para la obtención de la corriente y voltaje. Teniendo la captura de datos finalizada se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 16):

Frecuencia (Hz)	Velocidad (m/s)	Temperatura (c)
2	0.815	46.6
4	0.941	47.1
6	1.364	47.8
8	1.638	48.7
10	1.876	49.8
12	2.33	50.6
14	2.772	51.8
16	3.094	54.3
18	3.368	55.5
20	3.922	56.5
22	4.221	56.8
24	4.664	57.5
26	5.179	58.6
28	5.565	59.1
30	6.095	60.1
32	6.531	61
34	7.223	61.4
36	7.57	62.1
38	7.867	62.1
40	8.332	62.7
42	8.679	63.1
44	9.166	63.8
46	9.584	63.8
48	10.22	62.7
50	10.49	62.7

Tabla 16. Tabla de frecuencias, velocidad y temperaturas.

5 Conclusiones

Después de realizar la evaluación del secador solar para productos pesqueros sin producto en su interior, se pudo concluir lo siguiente:

Al operar el secador solar con el sistema solar térmico de calentamiento de agua con almacenamiento (modo de operación 1), para calentar e ingresar el aire caliente al secador de forma indirecta se obtuvieron temperaturas promedio en el



interior de la cámara de secado de 52°C, 57°C y 64°C al ingresar el agua al intercambiador de calor agua-aire a 60.3 °C, 69.2°C y 80.1 °C respectivamente. Al operar el secador solar con el sistema solar de calentamiento de aire (modo de operación 2), para calentar e ingresar el aire al secador de manera directa, se obtuvieron temperaturas promedio en el interior de la cámara de secado de 54.2 °C a 61.5 °C con velocidades promedio de aire de 2.4 m/s a 10 m/s respectivamente, lo cual es aceptable que para el secado de productos ya que se requiere de temperaturas media de 55 °C con caudales promedio de 2.5 m/s en el interior del secador. Con todo lo anterior mencionado podemos deducir que el deshidratador solar tipo túnel cumple con los parámetros necesarios para el proceso de secado.

6 Bibliografía

- [1] M. Moheno-Barrueta *et al.*, "Experimental Evaluation and Theoretical Optimization of an Indirect Solar Dryer with Forced Ventilation under Tropical Climate by an Inverse Artificial Neural Network," p. 7616, Aug. 2021, doi: 10.3390/app11167616.
- [2] "Implementación del secador solar de túnel tipo Hohenheim en productos agrícolas: Revisión de literatura - PDF Descargar libre." Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://docplayer.es/57619935-Implementacion-del-secador-solar-de-tunel-tipo-hohenheim-en-productos-agricolas-revision-de-literatura.html>
- [3] "Weiss, W. y Buchinger, J. (2003) Establecimiento de secado solar de una producción, ventas y consultoría - Referencias - Publicaciones de investigación científica." Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1130538](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1130538)





31 Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta comunitaria para el secado de productos pesqueros y acuícolas

Alejandra del Carmen Castro Góngora¹, *Manuel Alejandro González Herrera¹, Margarita Castillo-Téllez¹, Beatriz Castillo-Téllez², Diana C. Mex Álvarez¹, Luz Ma. Hernández Cruz¹, Shih Meng Yen¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México

²Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: Manuel A González Herrera: magonzal@uacam.mx.

Resumen

La Secretaría de Pesca y Acuicultura del Estado de Campeche desarrolló un Foro -Taller de Planeación del Programa Sectorial en los temas de: Desarrollo e Innovación en la Pesca, Pesca Ribereña, Participación Social en el Desarrollo Sustentable, entre otros temas, derivado del mismo se identificaron algunas problemáticas como la necesidad de organización de las comunidades de pescadores, la falta de centros de acopio y comercialización de productos pesqueros, la importancia de diversificar la presentación de productos pesqueros con valor agregado y demás. Campeche tiene una participación en la producción nacional pesquera del 2.71% en el 2020, la cual representa un desplome del 0.7%, con respecto al 2010, a pesar de contar con un litoral muy amplio, una gran diversidad de fauna y con las áreas portuarias de: Isla Arena, San Francisco de Campeche, Seybaplaya, Champotón, Sabancuy, Isla Aguada, Muelle Fiscal de Ciudad del Carmen, La puntilla, Atasta, Emiliano Zapata, y Nuevo Campechito. Por lo antes mencionado se requiere de la vinculación del sector académico para hallar soluciones adecuadas a las necesidades de las comunidades pesqueras. Por lo cual, se propone implementar la construcción e instalación de la "Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía solar para su integración en comunidades rurales", como el instrumento que permitirá coadyuvar a la reactivación o incremento de la actividad económica de las comunidades pesqueras que se encuentran en situaciones de marginación. Las Autoridades de la comunidad pesquera de Seybaplaya, han manifestado su interés en la implementación de la planta comunitaria, por lo cual, el motivo del presente trabajo es realizar un estudio de prefactibilidad, para elegir la localización espacial que cumpla con los criterios adecuados correspondiente a la colocación de la planta comunitaria para el secado de productos pesqueros y acuícolas, esta metodología permitirá tener una perspectiva general de la logística que se requiere para su instalación y demás factores que intervienen en la toma de decisiones.

Palabras clave: Secado solar, organización, distribución, planta de secado, pesca, prefactibilidad.



Introducción

La investigadora de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Dra. Margarita Castillo Téllez, expone la importancia de implementar su proyecto de “Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termo solar para su integración en comunidades rurales”, como el medio para coadyuvar a la economía de las comunidades pesqueras, por ende la ubicación espacial de la Planta es fundamental, debido a que la localización óptima puede determinar el éxito o fracaso del proyecto.

Entre los impactos, beneficios, usuarios y sostenibilidad de la planta comunitaria, destacan la obtención de variedad de productos procesados con un valor agregado; capacitación constante e incluyente para pescadores y operarios en todo el proceso de secado solar; desarrollo de la economía formal para las comunidades de pescadores aledañas a la instalación; talleres sobre el adecuado manejo de insumos y producto final, asegurando la higiene y control de calidad en todo el proceso; así como el rescate de la cultura del secado solar de alimentos del mar mediante el uso de las nuevas tecnologías. [1]

Es así que se propone un proyecto de desarrollo sustentable con carácter multidisciplinario, que sustentado en un análisis para la elaboración de un diagnóstico participativo sobre las necesidades y situación económica, energética, social, climática y cultural de comunidades pesqueras rurales del Estado de Campeche, se defina la pertinencia, factibilidad técnica y económica de la instalación de una Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros (captura y acuícola), operada con un sistema energético híbrido (solar-gas LP-biogás) y tecnologías de secado solar directo e indirecto, para su integración y asimilación comunitaria de la localidad rural seleccionada.

El H. Ayuntamiento de Seybaplaya, Campeche, solicita a la Universidad Autónoma de Campeche, el valioso apoyo e intervención para realizar estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta comunitaria para el secado de productos pesqueros y acuícolas.

Por lo expuesto anteriormente el motivo del presente trabajo es realizar una evaluación de prefactibilidad para elegir el predio que cumpla con los criterios adecuados correspondiente a la colocación de la planta comunitaria para el secado de productos pesqueros y acuícolas.

Por lo cual se requiere conocer los procesos intrínsecos de la planta, requerimientos, necesidades, alcances para el implementación y funcionamiento del proyecto, adicionalmente, se primordial visitar las propuestas de predios, así como elegir los criterios que mejor se adecue a las condiciones requeridas del proyecto, por último, se expondrán los resultados obtenidos

Así mismo, se determinarán los datos que se requieren documentar para la evaluación de la elección del predio.



Materiales y Métodos

El presente estudio de prefactibilidad, analiza la posibilidad de instalar una planta comunitaria para el secado de productos pesqueros, con base en información de fuentes primarias y secundarias, que proporcionan datos reales para garantizar la veracidad del proyecto.

Este estudio está fundamentado en analizar las distintas alternativas de ubicación espacial del proyecto, eligiendo aquella que permita la mayor rentabilidad. La selección de la alternativa depende de criterios y/o parámetros técnicos, económicos, estratégicos institucionales y hasta de situaciones sociales.

El método utilizado se denomina **Método de los Factores Ponderados en Obras de Infraestructura (MFPOI)**, este se fundamenta en los principios del método de factores ponderados. MFPOI consiste en implementar para cada una de las propuestas de predios seleccionados un análisis cuantitativo en el que se compararan entre sí las diferentes alternativas para conseguir determinar una o varias localizaciones válidas para determinar la localización definitiva de la planta.

Para aplicar el **Método de los Factores Ponderados en Obras de Infraestructura (MFPOI)** se destaca la necesidad agregar conceptos adicionales, inherentes a estos proyectos.

En todo proyecto existen factores que afectan o influyen en la toma de decisiones. Por lo cual es importante establecer en primer lugar la directriz que se debe seguir o cumplir, entendiéndose por directriz como la norma o instrucción que se tiene en cuenta para realizar una acción. Las directrices, por lo tanto, sientan las bases para el desarrollo de una actividad o de un proyecto. Cada proyecto tiene características o circunstancias que conforman los aspectos intrínsecos del mismo. Ver Tabla 1

Se asume que la importancia de las **directrices** es igual en peso relativo, sin ser relevante el número de criterios y/o parámetros que se involucren en cada una. A diferencia del **método de los factores ponderados**, que se caracteriza por aceptar que se asigne pesos relativos diferentes a cada uno de los factores relevantes, que se pudieran considerar en el análisis. Ver Tabla 1

Para establecer los elementos que permitirán examinar el proyecto, es decir los **parámetros y/o criterios**, contienen información que primero se define y después se clasifica en varias categorías de elementos para un proyecto. Los parámetros del proyecto son específicos y no se comparten con otro proyecto. Ver Tabla 1

Los criterios para examinar un parámetro requieren de **indicadores**, es decir indicador o factor o variable que puede ser medida de manera objetiva. Se utiliza para evaluar de forma fiable los cambios obtenidos o los progresos alcanzados por un proyecto para lograr sus resultados y objetivos. Ver Tabla 1

La escala permite expresar las distintas cualidades cualitativas en cuantitativas, debido a la puntuación obtenida con los pesos para cada directriz. Ver Tabla 1

Tabla 1 Método de los factores ponderados en obras de infraestructura – MFPOI.

DIRECTRICES	PESO	PARÁMETRO Y/O CRITERIO	INDICADOR	ESCALA
		•		
		•		
		•		
Nota: Atribución de derechos de autor				



La calidad del estudio cualitativo está en función de criterios como la fiabilidad (la medida, procedimiento o instrumento que genera el mismo resultado en distintas ocasiones), la validez interna (las conclusiones ofrecen una descripción ajustada a la realidad) y la validez externa (si los resultados pueden ser extrapolados). Esta metodología permite estandarizar y comprender las características de un proyecto cualitativo de forma cuantitativa.

Resultados y Discusión

Es importante tener una perspectiva amplia de los distintos factores que afectan la elección del terreno.

Fuentes primarias de información

Reunión de trabajo con los funcionarios del H. Ayuntamiento de Seybaplaya y el grupo interdisciplinario de investigadores de la Universidad Autónoma de Campeche y de la Universidad Autónoma de Guadalajara. Los funcionarios proponen dos alternativas de predios para la instalación de la planta comunitaria para el secado de productos pesqueros que a continuación en la Tabla 2 se describen:

Tabla 2 Alternativas de terrenos

	Alternativa 1	Alternativa 2
Superficie	0.63247 ha	1.24596 ha
Ubicación	Colonia Hornos	Carretera federal Seybaplaya-Campeche por prolongación C-18
Descripción	Consiste de dos polígonos. El primero con una superficie de 0.29977 ha y perímetro de 231.39 m, el segundo con una superficie de 0.33270 ha y un perímetro de 233.14 m.	Consiste en un polígono y orografía irregular y un perímetro de 724.37 m, sin delimitación visible.

Nota: Atribución de derechos de autor

1. Información documental proporcionada por el H. Ayuntamiento de Seybaplaya, consiste en planos en donde muestran la superficie, dimensiones y geolocalización de los predios en coordenadas UTM. En la Figura 1 los polígonos con el número 2 y 5 corresponden a la alternativa 1 y en la Figura 2 se tiene el polígono de la alternativa 2.

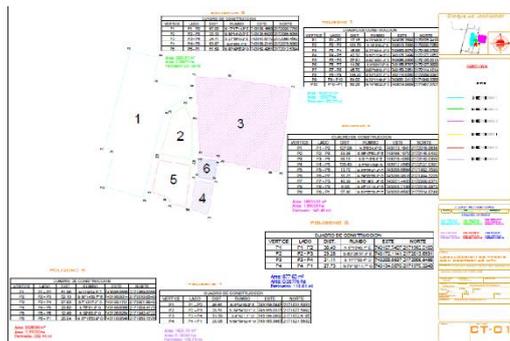


Figura 1 Plano topográfico del predio para la instalación de planta comunitaria, alternativa 1. [2]

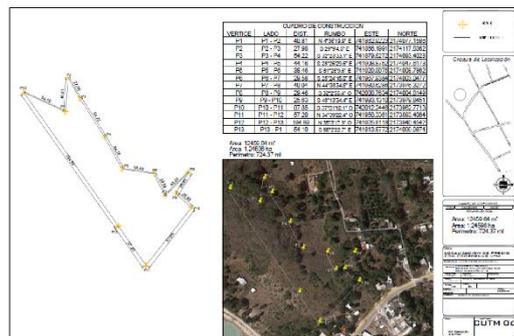


Figura 2 Plano topográfico del predio para la instalación de planta comunitaria, alternativa 2 [3]

2. Visita de campo - Alternativa 1



Durante la visita se observa lo siguiente 1. se observaron caminos de pavimento, 2. viviendas de mampostería de bloques huecos de concreto, 3. caminos de terracería, 4. viviendas en construcción, 5. fábricas y áreas de esparcimiento (piscinas o chapoteaderos), 6. terrenos parcialmente limpios, con poca maleza, orografía sin relieves abruptos parcialmente plano, pocos montículos, depresiones de poca profundidad, 7. se encontraron marcas topográficas de los límites del terreno, 8. servicios de agua potable como son tanques altos de agua y energía eléctrica, como acometidas y postes de energía eléctrica

3. Visita de campo – Alternativa 2

Durante la visita se observa lo siguiente: 1. Terrenos de cultivo, 2. Torre de comunicaciones particular, 3. Camino de terracería, 4. Viviendas de interés social y autoconstrucción, 5. Terreno lleno de rocas sueltas, con pendientes pronunciadas o fuertes desniveles que dificultan el acceso, 6. se aprecia en el interior del terreno una orografía irregular, escabrosa, con pocos árboles y parcialmente limpia, sin mucha maleza, 7. Vista panorámica, desde el interior del predio se observa la costa del mar, el malecón de Seybaplaya y el parador turístico.

Factores relevantes

En la Tabla 3 se señalan las directrices que sientan las bases para el desarrollo del proyecto. En la primera columna se exponen las directrices propias para este proyecto que son: Aspecto constructivo, Aspecto comercial, Aspecto social y el Aspecto legal asignándole un peso relativo de 25% como se observa en la segunda columna; se enlistan en la columna 3 los parámetros y/o criterios específicos para obras de infraestructura que corresponden a cada directriz; la columna cuatro presenta los indicadores que permiten examinar cada parámetro y/o criterio de manera objetiva, por ultimo la columna cinco establece la escala que permite expresar las distintas cualidades cualitativas en cuantitativas.

Tabla 3 Método de los factores ponderados en obras de infraestructura – MFPOI.

DIRECTRICES	PESO	PARÁMETRO Y/O CRITERIO	INDICADOR	ESCALA	
Aspecto constructivo	25%	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de pruebas de laboratorio Acciones de movimiento de tierras Superficie que requiere deslinde (mensura) Superficie de deslinde por topografía Delimitación Facilidad de acceso Existencia de vialidades Requerimiento de servidumbre de paso Actividades para el suministro de energía eléctrica (CFE) Actividades para el suministro de agua potable Dificultad para suministrar materiales, equipo y maquinaria 	Recursos económicos	Menos	Más
Aspecto comercial	25%	<ul style="list-style-type: none"> Efectos de la vista panorámica Posicionamiento urbanístico 	Recuperación de inversión	Menor	Mayor



		<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones del entorno • Beneficio de la imagen urbana • Efectos de la contaminación visual y del aire 			
Aspecto social	25%	<ul style="list-style-type: none"> • Señal satelital • Posicionamiento urbanístico¹ • Presencia de invasión² • Ampliación de los proyectos 	Impacto positivo	Menor	Mayor
Aspecto legal	25%	<ul style="list-style-type: none"> • Situación legal del terreno • Presencia de invasión² 	Temporalidad	Menor	Mayor
<p>1. Posicionamiento urbanístico, tiene un impacto en la sociedad por la inserción en la región, la competitividad empresarial que representa el proyecto recae dentro del aspecto comercial.</p> <p>2. Presencia de invasión, este parámetro es pertinente al aspecto social, por las manifestaciones que la sociedad puede externar ante un proyecto de infraestructura. En el aspecto legal este mismo parámetro tiene injerencia al demostrar la titularidad del espacio, en donde se implementará la obra.</p>					

Evaluación

En la siguiente tabla del aspecto CONSTRUCTIVO se observa que la puntuación total es de 37 para la alternativa 2 y 20 para la alternativa 1, **obteniendo la alternativa 2 mayor puntuación.** Ver Tabla 4.

Tabla 4 Aspecto constructivo.

Aspecto constructivo

Parámetro	Alternativa 1 (En terreno plano)	Alternativa 2 (En terreno elevado)
Necesidad de pruebas de laboratorio	1	4
Acciones de movimiento de tierras	1	4
Superficie que requiere deslinde (mensura)	1	4
Superficie de deslinde por topografía	1	4
Delimitación	0	4
Facilidad de acceso	4	0
Existencia de vialidades	4	1
Requerimiento de servidumbre de paso	0	4
Actividades para el suministro de energía eléctrica (CFE)	3	4
Actividades para el suministro de agua potable	3	4
Dificultad para suministrar materiales, equipo y maquinaria	2	4
Sumatorias:	20	37

En la siguiente tabla del aspecto COMERCIAL se observa que la puntuación total es de 16 para la alternativa 2 y 11 para la alternativa 1, **obteniendo la alternativa 2 mayor puntuación.** Ver Tabla 5.

Tabla 5 Aspecto comercial

Aspecto comercial

Parámetro	Alternativa 1 (En terreno plano)	Alternativa 2 (En terreno elevado)
Efectos de la vista panorámica	2	4
Posicionamiento urbanístico	2	4
Edificaciones del entorno	4	1
Beneficio de la imagen urbana	1	3
Efectos de la contaminación visual y del aire	2	4
Sumatorias:	11	16



En la siguiente tabla del aspecto SOCIAL se observa que la puntuación total es de 16 para la alternativa 2 y 8 para la alternativa 1, **obteniendo la alternativa 2 mayor puntuación.** Ver Tabla 6.

Tabla 6 Aspecto social.

Aspecto social

Parámetro	Alternativa 1 (En terreno plano)	Alternativa 2 (En terreno elevado)
Señal satelital	4	4
Posicionamiento urbanístico	2	4
Presencia de invasión	1	4
Ampliación de los proyectos	1	4
Sumatorias:	8	16

En la siguiente tabla del aspecto LEGAL se observa que la puntuación total es de 5 para la alternativa 2 y 5 para la alternativa 1, **obteniendo la alternativa 2 y 1 la misma puntuación.** Ver Tabla 7

Tabla 7 Aspecto legal

Aspecto legal

Parámetro	Alternativa 1 (En terreno plano)	Alternativa 2 (En terreno elevado)
Situación legal del terreno	4	1
Presencia de invasión	1	4
Sumatorias:	5	5

Conclusiones

- Se concluye en el aspecto CONSTRUCTIVO que la alternativa 1 es preferente con respecto a la alternativa 2, dado que implicaría un menor presupuesto.
- Se concluye en el aspecto COMERCIAL que la alternativa 2 es preferente con respecto a la alternativa 1, dado que implicaría mayor recuperación de inversión.
- Se concluye en el aspecto SOCIAL que la alternativa 2 es preferente con respecto a la alternativa 1, dado que implicaría un mayor impacto positivo.
- Se observa en el aspecto LEGAL que la alternativa 1 y la alternativa 2 presentan semejante temporalidad como probable resolución, la alternativa 1 sería favorable en el momento que el aspecto legal se solucione.

Tabla 8 Tabla resumen



Directriz	Alternativa 1 (En terreno plano)	Alternativa 2 (En terreno elevado)
Aspecto constructivo	MENOS recursos económicos	
Aspecto comercial		MAYOR recuperación de inversión
Aspecto social		MAYOR impacto positivo
Aspecto legal	MEDIANA temporalidad	MEDIANA temporalidad

Por lo cual se concluye en la Tabla 8 resumen, que la alternativa que tiene mayor cantidad de aspectos favorables es la opción denominada alternativa 2, que consiste en un terreno elevado.

Referencias

- [1] UDG, «Universidad de Guadalajara,» 13 marzo 2023. [En línea]. Available: Obtenido de <https://www.udg.mx/es/noticia/trabajan-universitarios-en-planta-comunitaria-para-secado-de-productos-pesqueros>.
- [2] D. d. C. H. Ayuntamiento de Seybaplaya. , «Alternativa 1».
- [3] D. d. C. H. Ayuntamiento de Seybaplaya, «Alternativa 2».
- [4] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 26 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-agropecuaria-y-pesquera-en-campeche?idiom=es>.
- [5] Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), 14 marzo 2023. [En línea]. Available: http://www.anui.es/noticias_ies/trabajan-universitarios-en-planta-comunitaria-para-secado-de.
- [6] Comisión Estatal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COEPRIS BCS), 2017. [En línea]. Available: <https://www.coeprisbcs.gob.mx/index.php/subcomisiones/fomento>.





32 Propuesta de proceso de deshidratado de productos pesqueros en un secador solar tipo túnel

*Alejandra del Carmen Castro Góngora¹, Manuel Alejandro González Herrera¹, Margarita Castillo-Téllez¹, Beatriz Castillo-Téllez², Diana Mex Álvarez¹, Luz Ma. Hernández Cruz

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México

²Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.

³Instituto Tecnológico de Lerma, Campeche, Campeche, México

*Autor de correspondencia: Alejandra del Carmen Castro Góngora, accastro@uacam.mx.

Resumen

La pesca tradicional es un elemento esencial y una contribución importante a las capturas totales de pescado y forma parte de las estrategias nacionales para reducir el hambre, la pobreza, la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos. El secado del pescado es un método útil y barato para conservarlo ya que reduce su peso y volumen aminorando las pérdidas de pescado tras la cosecha, así como los costos de envasado, manipulación y transporte, además de prolongar su vida útil y su calidad de conservación. El secado del pescado ayuda a que esté disponible durante todo el año y pueda distribuirse y exportarse a lugares donde no se produce. En el Estado de Campeche se instaló un prototipo de un secador indirecto tipo túnel para el secado de productos pesqueros (captura y acuícola), operado con un sistema energético de secado solar con hibridación de tecnologías solares, mismo que será la base para la instalación de una Planta Industrial de secado solar. Se presenta la distribución en planta y el diagrama de flujo del procesamiento de subproductos basados en el secado solar de productos marinos, básicamente los pasos seguidos son: el estudio del proceso de trabajo, identificación de los factores que influyen y la planificación de la distribución en planta buscando la máxima eficiencia.

Palabras clave: Secado solar, organización, distribución, planta de secado, pesca.



Introducción

México posee una extensión territorial de 1,964,375 km², con una superficie continental de 1,959,248 km² e insular de 5,127 km². También ostenta una gran variedad de sistemas costeros y marinos dentro de sus aguas territoriales: 12,500 km² de superficie de lagunas costeras y esteros, así como 6,500 km² de aguas interiores como lagos, lagunas, represas y ríos. Además de la extensión de sus Litorales: 629,925 ha al Litoral del Pacífico y 647,979 ha al Litoral del Golfo de México y el Mar Caribe; y una Zona Económica Exclusiva de 200 millas marinas. Asimismo, se cuenta con 160 sistemas lagunares costeros con una superficie aproximada de 1,277,904 ha. En el Océano Pacífico se encuentran 111 lagunas con una superficie estimada de 629,925 ha; en el Golfo de México se encuentran 35 con una superficie estimada de 633,879 ha; y en el Caribe se encuentran 14 con una superficie estimada de 14,100 ha.

El estado de Campeche ocupa el sexto lugar con mayor producción pesquera de México [1], tiene un litoral de 523 km, que representa 3.8% del total de México [2]. La alta diversidad de comunidades marinas del litoral de Campeche se relaciona con sus características geomorfológicas y ecológicas [3]. Esta actividad en el litoral de Campeche tiene larga tradición cultural e histórica, además de arraigo social y económico, la fama de la riqueza de la Sonda de Campeche es antigua [4]. La pesca tradicional es un elemento esencial y una contribución importante a las capturas totales de pescado y forma parte de las estrategias nacionales para reducir el hambre, la pobreza, la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos [5].

Las pérdidas de alimentos deberían mantenerse al mínimo en cualquier país, independientemente de su nivel de desarrollo económico y de la madurez de sus sistemas. ¿Cuántos alimentos se pierden y desperdician actualmente en el mundo y qué medidas de prevención podrían establecerse? Aunque todavía es imposible responder de manera precisa a esta pregunta, no hay muchas investigaciones en curso al respecto. Es bastante sorprendente si tenemos en cuenta que las previsiones sugieren que la producción de alimentos debe aumentar de manera significativa para satisfacer las futuras demandas mundiales. Sin embargo, no parece que se preste demasiada atención a las pérdidas actuales en la cadena de suministro de alimentos, que son seguramente considerables [6].

Por definición, las pérdidas de alimentos o el desperdicio son masas de alimentos que se tiran o desperdician en la parte de las cadenas alimentarias que conducen a «productos comestibles destinados al consumo humano».

En la producción primaria de pescado y mariscos las pérdidas son significativas debido a los índices de descarte de entre un 9 y un 15 % en las capturas marinas. Una alta proporción del pescado y mariscos que se compran también se desperdicia en los hogares de los consumidores. Los índices de descarte, representan la proporción de peces capturados totales que se devuelven al mar (en la mayoría de los casos muertos, agonizantes o gravemente dañados), representan una parte significativa de las capturas marinas mundiales y se suelen considerar como un derroche económico de los recursos marinos. La primera valoración global se publicó en 1994 y determinó un descarte total de 27 millones de toneladas [7]. El último estudio mundial realizado por la FAO en 2005 sugiere que la valoración corresponde a una media ponderada de descarte mundial del 8 %. Sin embargo,



existen diferencias considerables entre los métodos de pesca y las regiones [8].

Ante la problemática de la conservación de alimentos, el estudio de métodos para su conservación resulta una alternativa viable para reducir los porcentajes de pérdidas; actualmente existen múltiples opciones, siendo el proceso de secado uno de los más utilizados comercialmente [9] y su aplicación mediante el uso de energía solar es uno de los procesos más antiguos permitiendo mantener las propiedades nutritivas de los alimentos apareciendo como una alternativa interesante en especial en lugares aislados o sin acceso a la energía [10]. El proceso de secado solar es sumamente variable siendo una función de las condiciones medio ambientales del lugar, del tipo de secador, del tipo de producto, la viabilidad a una determinada escala y producción, asimismo de la manera del proceso más efectivo.

El secado mediante energía solar de alimentos es un eslabón en la cadena de producción que en la actualidad al representar un costo barato para el productor permite conservarlo de forma que se evite el crecimiento de bacterias y su proliferación en él [11]. En la Entidad el secado se realiza de forma artesanal en el patio de sus hogares de manera improvisada [12], lo que no constituye una de las mejores prácticas debido a que se evita una adecuada ventilación con la posibilidad de desarrollar hongos y bacterias que afecta la calidad del producto. El objetivo de este proyecto es fomentar espacios habilitados en condiciones de inocuidad que estén a la orden de emprendedores, emprendedoras o emprendimientos que necesiten contar con él para la elaboración de alimentos, así como facilitar las condiciones de comercialización mediante la implementación de una *“Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termo solar para su integración en comunidades rurales”*.

La idea es contar con una edificación comunitaria que tenga las condiciones de inocuidad para elaborar alimentos con apoyo técnico para generar productos que puedan llegar al mercado con la habilitación correspondiente, con el fin de mejorar su sistema productivo y con ello mejorar la calidad del producto final. La organización de este proceso productivo incluye patios de secado comunitario y secadores solares que permitirá incursionar en productos de calidad y con ello incrementar las ventas e ingresos que favorezcan la economía de las familias. La distribución de áreas de esta planta de deshidratado de productos pesqueros está en función de las necesidades específicas de producción que garanticen el uso de alta tecnología, calidad y eficacia continuas incluso para las mayores capacidades de producción, con sistema de secado sencillo de instalar que permiten un alto grado de automatización de procesos gracias a sistemas de control automático que aseguren un producto final homogéneo y de calidad.

Metodología

Metodología: Proceso de Trabajo para Plantas comunitarias de Secador Solar EFP

El presente estudio expone una Propuesta de proceso de deshidratado de productos pesqueros fundamentada en las Directrices voluntarias SSF para



garantizar la Pesca Sostenible en pequeña escala (adoptadas por la FAO) que tiene por finalidad implementar una “Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termo solar para su integración en comunidades rurales”.

El proceso de trabajo para Plantas comunitarias de secado solar formulado se plantea en tres etapas



Los estudios en todo proyecto son fundamentales, permiten conocer el perfil sociodemográfico de la sociedad pesquera a pequeña escala y precisar el sistema de proceso de secado que se implementará buscando complementariedad y sinergias entre la nueva tecnología productiva y la cultura comunitaria.

En todo proyecto existen factores que afectan o influyen en la toma de decisiones, las variables ambientales se modifican en función de las particularidades de la localidad donde se decida implementar el proyecto y contribuyen a definir el proceso de la producción.

La planificación permitirá la implantación física tanto del prototipo de secado como de la edificación que admita las áreas y flujo de proceso más efectivos en su distribución en la planta. De igual manera facilitará proyectar la construcción y puesta en marcha de la planta comunitaria de secado.

Para lograr los resultados se tienen que cumplir con las Directrices internacionales que se enlistan a continuación:

- Directrices SSF sobre el derecho a la alimentación (FAO)
- Directrices voluntarias SSF para garantizar la Pesca Sostenible en pequeña escala

Resultados

Como reflejo del trabajo colaborativo y coordinado se ha contribuido en los resultados de manera colegiada investigadores y docentes de la Universidad Autónoma de Campeche, la Universidad de Guadalajara, Centro de Investigación en Materiales Avanzados (Unidad Durango), e instancias gubernamentales como son la Secretaría de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático (SEMABICCE), la Secretaría de Economía (SEDECO), el Instituto Nacional de Pesca (INPESCA) y la oficina de la Gobernadora del Estado de Campeche [13]. A continuación se exponen los resultados de las instituciones educativas y gubernamentales, mencionadas en el párrafo anterior por etapa. Sin embargo no es objetivo de este documento profundizar en las etapas 1, 2 y la 3, pero si desglosar



el análisis de producción que corresponde a esta última etapa

Etapa 1

Estudio para definir el área de incidencia-socio-ambiental. Se aplicaron encuestas y talleres sobre temas demográficos, socioeconómicos y productivos para la elaboración de un diagnóstico de las comunidades en estudio. Los resultados de esas encuestas fueron complementados con estadísticas oficiales consultadas en bases de datos en línea

Estudio para definir la comunidad del proyecto. La ubicación de la Planta termosolar se definió como resultado del trabajo de campo realizado (talleres, entrevistas, análisis de indicadores, etc.); es importante mencionar que se trabajó siempre de manera colegiada con los investigadores y docentes participantes en el proyecto, así como con las instancias gubernamentales.

Estudio para definir el prototipo. Se realizaron talleres para lograr la sensibilización y apropiación de la tecnología de secado solar por las comunidades: pescadores, amas de casa y adultos mayores; realizaron todo el proceso de secado desde el corte del producto hasta retirar el producto seco de los equipos solares portátiles llevados para tal fin. También se generaron criterios para definir las maneras culturales para su inserción, apropiación colectiva y de género sin distorsionar, sino potenciando, la vida y las identidades comunitarias.

Etapa 2

Caracterización y monitoreo de variables ambientales. Se realizó la caracterización climatológica, las variables de temperatura, radiación solar, velocidad del viento y precipitación, mediante el trabajo de investigación intitulado “Variabilidad climática de la precipitación en el Estado de Campeche”; el objetivo principal planteado en el trabajo es el análisis del comportamiento de la precipitación para diferentes intervalos de observación y épocas climática en todo el Estado [14].

Evaluación de prefactibilidad para la elección del terreno. Este estudio está fundamentado en analizar las distintas alternativas de ubicación espacial del proyecto, eligiendo aquella que permita la mayor rentabilidad. La selección de la alternativa depende de criterios y/o parámetros técnicos, económicos, estratégicos institucionales y hasta de situaciones sociales. El método utilizado se denomina **Método de los Factores Ponderados en Obras de Infraestructura (MFPOI)**, este se fundamenta en los principios del método de factores ponderados. MFPOI consiste en implementar para cada una de las propuestas de predios seleccionados un análisis cuantitativo en el que se compararon entre sí las diferentes alternativas para conseguir determinar una o varias localizaciones válidas para determinar la localización definitiva de la planta.

Comportamiento experimental del proceso de secado. De las pruebas experimentales se observa que las temperaturas máximas alcanzadas en la cámara de secado cuando el secador solar fue operado sin carga térmica y con el sistema solar de calentamiento de aire, fue entre 54.2 y 61.5 °C, con una velocidad de aire de 2.4 m/s y 1.04 m/s respectivamente, lo cual muestra un buen desempeño



térmico en las condiciones evaluadas. Las velocidades de aire y temperaturas alcanzadas en todos los experimentos son adecuadas para el secado de pescados. En el estudio experimental de secado solar de los productos, los resultados obtenidos en el monitoreo de diversos factores y las condiciones ambientales son muy alentadores ya que el tiempo de secado máximo en las pruebas realizadas fue de aproximadamente 7 horas.

Etapa 3

Diseño y dimensionamiento del prototipo. Se cuenta con la caracterización térmica del secador solar que permitió diseñar y dimensionar el prototipo experimental del secador solar tipo túnel, así como los sistemas de calentamiento solar y convencional necesarios para su eficiente operación. Es capaz de operar sin energía eléctrica convencional y tiene la capacidad de procesar 40 kg de producto fresco.

Construcción del prototipo. Se tiene instalado y operando en la Facultad de Ingeniería de la UAC un prototipo experimental de un secador solar híbrido de pequeña capacidad, así como la instalación eléctrica e hidráulica; también está definida su eficiencia y tiempos de secado. Es importante recalcar que con este secador solar se podrá operar de manera continua cuando haya días soleados y también en días nublados o periodos nocturnos.

Manual de operación e instrumentación del prototipo. Se elaboró el Manual de operación e instrumentación que contiene la descripción paso a paso de la operación del prototipo del secador solar tipo túnel construido e instalado en la Facultad de Ingeniería de la UAC.

Análisis del proceso de producción. La información obtenida mediante visitas a las comunidades pesqueras y la aplicación de encuestas a pescadores, esposas de pescadores, dueños de cooperativas y permisionarios, permitió determinar la manera de procesar los productos pesqueros, en el marco de lo establecido en las prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios [15]



Tabla 1 Características organolépticas para el consumo humano

Productos de la pesca		
Pescado	Aceptado	Rechazado
Color	agallas rojo brillante	gris o verde en agallas
Apariencia	agallas húmedas, ojos saltones, limpios, transparentes y brillantes	agallas secas, ojos hundidos y opacos con bordes rojos
Textura	firme	flácida
Olor	característico	agrio, putrefacto o amoniacal
Moluscos		
Color	característico	no característico
Textura	firme	viscosa
Olor	característico	putrefacto o amoniacal
Apariencia	brillante	mate
Vitalidad (productos vivos)	conchas cerradas o que se abren y cierran al contacto.	conchas abiertas, que no cierran al tacto.
Crustáceos		
Color	característico	no característico
Textura	firme	flácida
Olor	característico al marisco	putrefacto o amoniacal
Apariencia	articulaciones firmes	articulaciones con pérdida de tensión y contracción, sin brillo, con manchas oscuras entre las articulaciones
Cefalópodos		
Color	característico	no característico
Textura	firme	flácida y viscosa
Olor	característico	putrefacto

Diagrama 1 Diagrama del análisis del proceso de producción propuesto- parte A

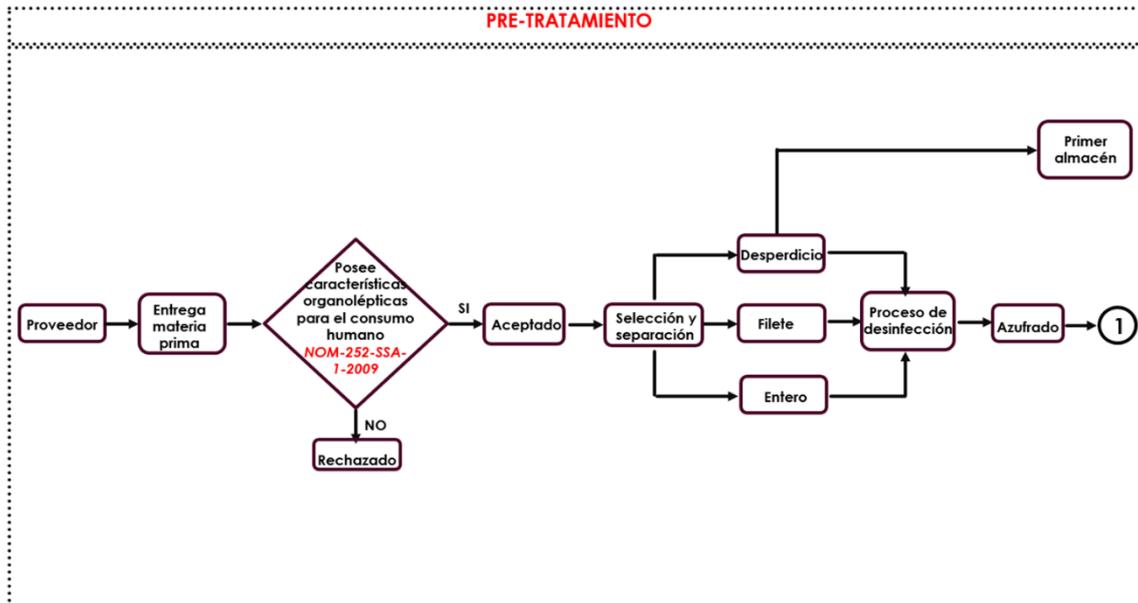




Diagrama 2 Diagrama del análisis del proceso de producción propuesto- parte B

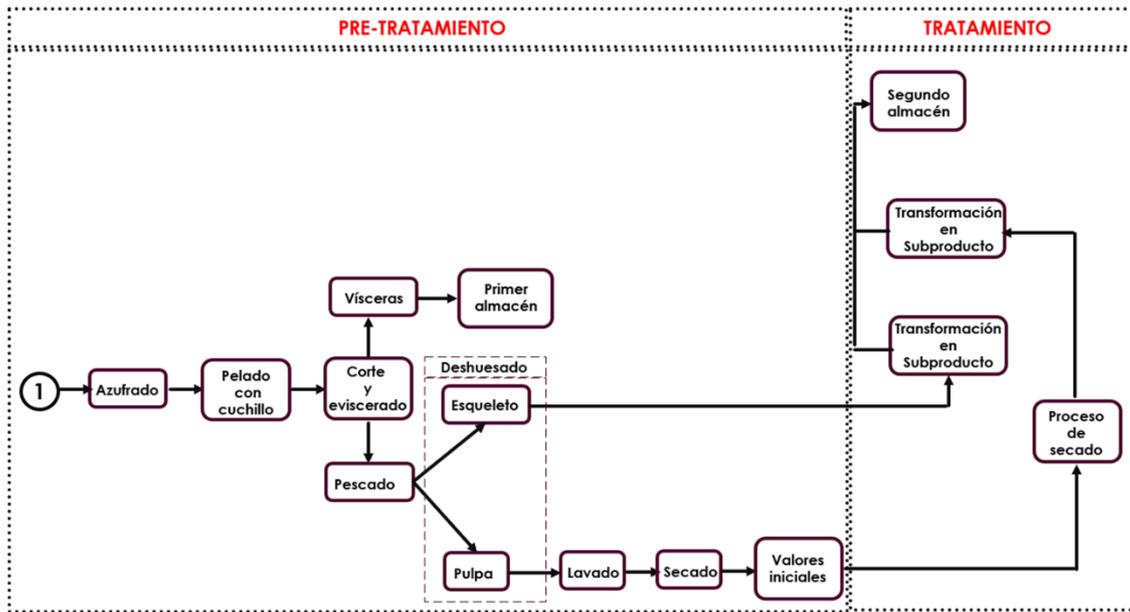


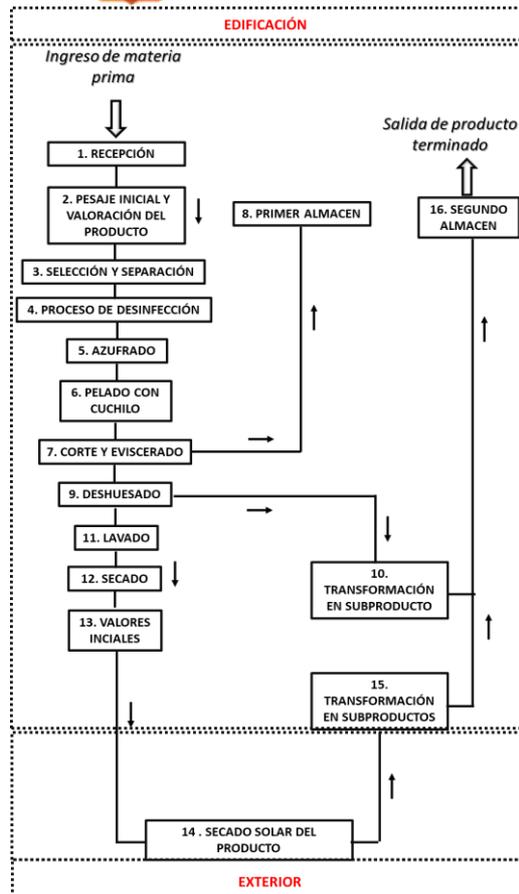
Diagrama del proceso de producción propuesto.

La necesidad de implementar un diseño de planta para optimizar la manipulación y procesamiento de su producción, se propone realizar en las siguientes etapas:

Etapa	Símbolo	Nombre de la etapa
1	R	recepción
2	PVP	pesaje inicial y valoración del producto (NOM)
3	SS	selección y separación
4	PD	proceso de desinfección
5	A	azufrado
6	PC	pelado con cuchillo
7	CE	corte y eviscerado
8	PA	primer almacén
9	D	deshuesado
10	TSP	transformación en subproducto
11	L	Lavado
12	S	secado
13	VI	valores iniciales (temperatura, peso, ...)
14	SSP	secado solar del producto
15	TSP	transformación en subproductos
16	SA	segundo almacén

En el diagrama de bloques se presenta la secuencia, circulación de las etapas del proceso de producción dentro de la edificación y fuera de ella.

Diagrama 3 Diagrama del proceso de producción propuesto



Sistemática de la distribución en planta

El objetivo primordial que persigue la distribución en planta es contar con una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo, que sean lo más económicas para el trabajo, al mismo tiempo que sea más segura y satisfactoria pero el cumplimiento de las funciones de los empleados [16]. Los principios básicos que debe cumplir una buena distribución en planta son seis [17]

1. Principio de la Integración de conjunto. La mejor distribución es la que integra actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas las partes.
2. Principio de la mínima distancia recorrida a igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea más corta.
3. Principio de la circulación o flujo de materiales. En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución o proceso que este en el mismo orden a secuencia en que se transforma, tratan o montan los materiales.
4. Principio de espacio cúbico. La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto vertical como horizontal.



5. Principio de la satisfacción y de la seguridad. A igual de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los productores.

6. Principio de la flexibilidad. A igual de condiciones, siempre será más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costo o inconvenientes.

Diagrama 4 Propuesta de distribución de áreas en el pretratamiento

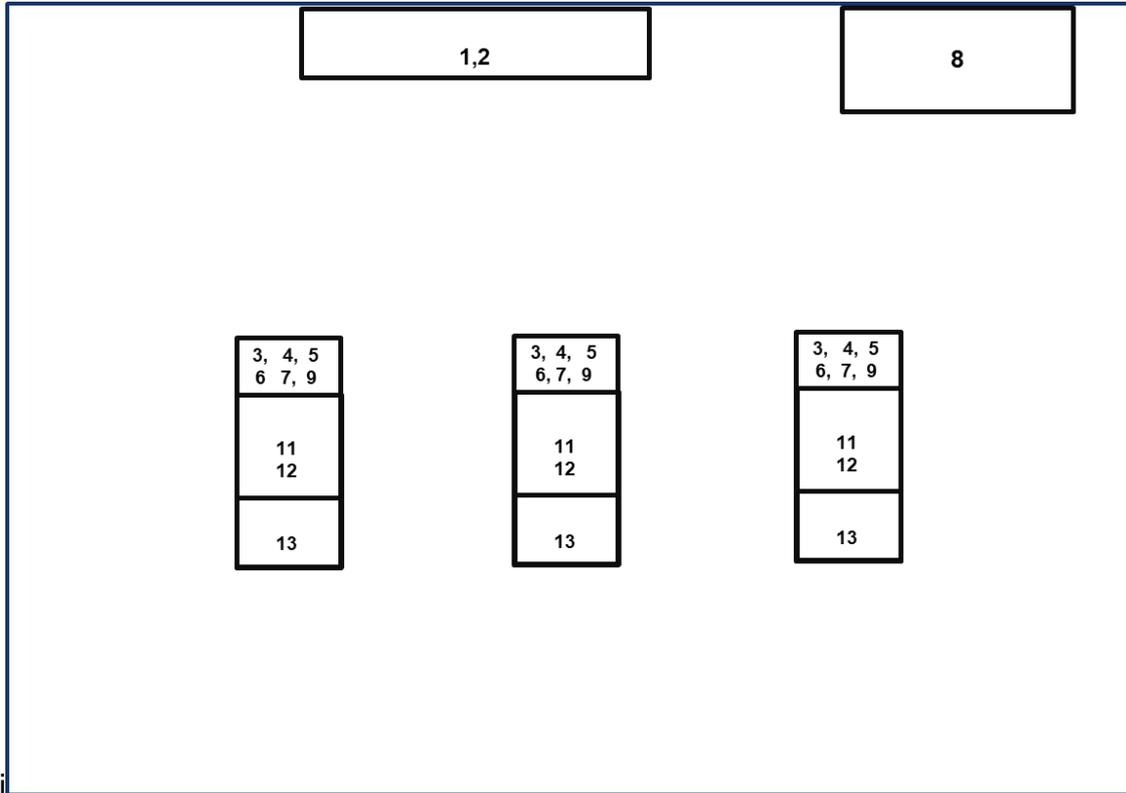
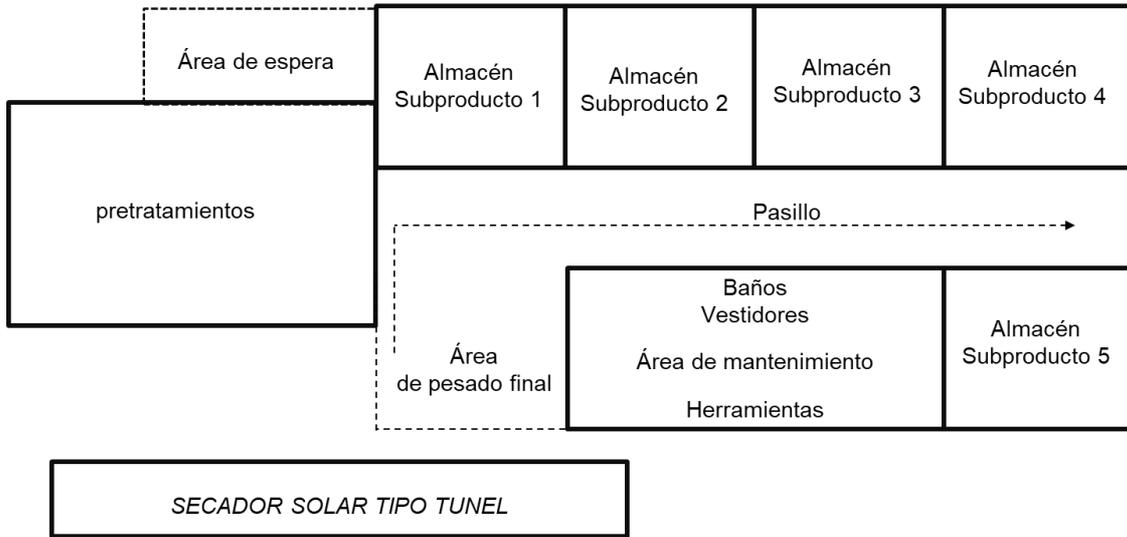




Diagrama 5 Propuesta de distribución de áreas en Planta comunitaria de secado.



Conclusiones

Con este proyecto se espera:

Generar nuevas posibilidades de empleo directo e indirecto, contribuyendo a la disminución de algunos problemas socio – económicos que oprimen a la población.

Explotar un mercado que no se ha generalizado el potencial, a consecuencia de la falta de capacitación, usos y técnicas de pesca.

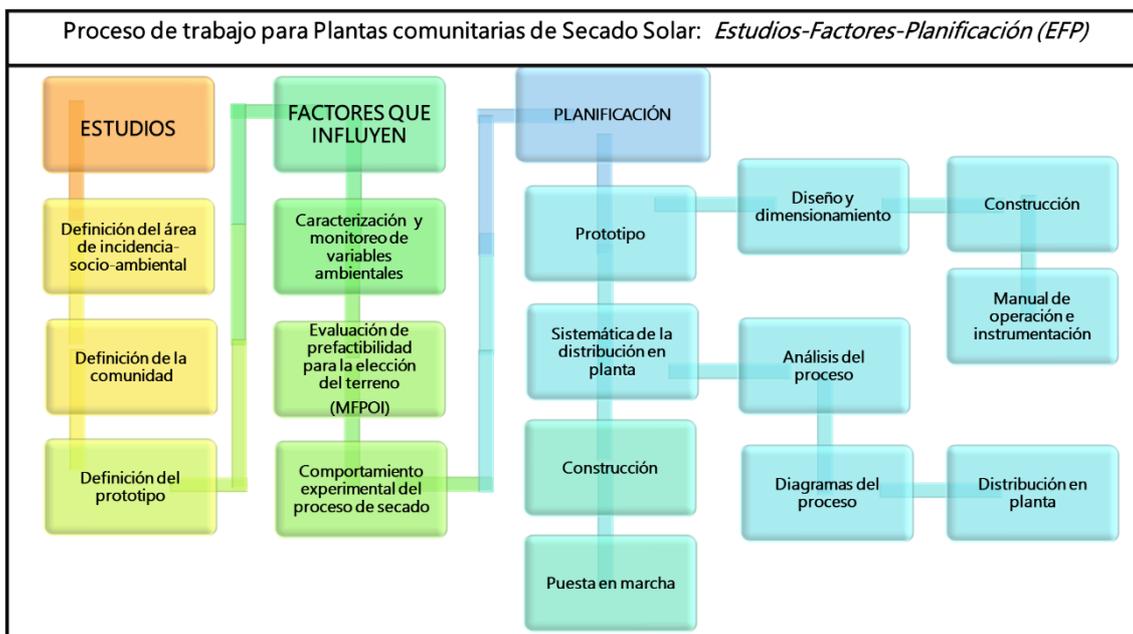
Innovar en términos de uso del pescado en cuanto a características, componentes y transformación de fácil conservación.

Reemplazar las técnicas tradicionales del proceso de transformación del pescado con avance tecnológico al facilitar y agilizar el proceso además de garantizar la calidad del producto.

Establecer un Proceso de trabajo (EFP) para Plantas comunitarias de secado solar con fundamentos internacionales que orienten en la organización de las actividades interdisciplinarias propias del proyecto a desarrollar.



Diagrama 6 Proceso de trabajo para Plantas comunitarias de Secado Solar: Estudios- Factores-Planificación (EFP)



Referencias

- [1] Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2021, 2021.
- [2] M. Botello Ruvalcaba, R. Villaseñor Talavera y S. Mezo Villalobos, «Ordenamiento pesquero ribereño marino: informe de ejecución 2010,» Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca - Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Ciudad de México, 2010.
- [3] D. Flores Hernández, U. Markaida, J. C. Pérez Jiménez y J. Ramos Miranda, «Las pesquerías,» de *La Biodiversidad en Campeche, Estudio de Estado. Campeche*, Campeche, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Gobierno del Estado de Campeche - Universidad Autónoma de Campeche - El Colegio de la Frontera Sur, 2010.
- [4] A. Yañez Arancibia, A. L. Lara Domínguez y D. Pauly, «Coastal Lagoons as fish habitat,» de *Coastal lagoon processes*, K. Kjerfve, Ed., Elsevier, Amsterdam, 1994, pp. 363-376.
- [5] Ali, A., Ahmadou, D., Mohamadou, B. A., Saidou, C y Tenin, D., «Influence of Traditional Drying and Smoke-Drying on the Quality of Three Fish Species (*Tilapia Nilotica*, *Silurus Glanis* and *Arius Parkii*) from Lagdo Lake, Cameroon,» *Journal of Animal and Veterinary Advances*, pp. 301- 306, 2011.
- [6] FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención, Düsseldorf, Alemania: División de Infraestructuras Rurales y Agroindustrias (AGS), 2011.
- [7] Alverson, D. L., Freeberg, M. H., Murawaski, S. A. y Pope, J. G., «A global assessment of fisheries bycatch and discards,» FAO, Roma, 1994.



- [8] Kelleher, K., «Descartes en la pesca de captura marina mundial. Una actualización.» FAO, Roma, 2005.
- [9] Almeida I. B., Lima M. A. A. y Souza L. G. M., «Desarrollo de secado solar construido a partir de material reciclable,» de *Holos*, vol. 4, 2016, pp. 197-205.
- [1] Iriarte A. y Bistoni S., «Secado y simulación de un secadero solar doble paso para productos especiales,» de *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AMERVA*, vol. 20, 2016, pp. 1-11.
- [11] J. A. Sainz Jimenez, «Secado de alimentos mediante energía solar,» de *3 C Tecnología*, Num 11. Diciembre '14 - marzo '15 ed., vol. 3, Area de innovación y desarrollo S.L., 2014, pp. 234-244.
- [1] N. G. Jimenez Cano y M. L. Rendon Cabrera, «Asando cazones bajo el sol de Campeche, México: aproximaciones etnográficas e implicaciones etnoarqueológicas,» de *Revista Etnobiología*, vol. 16 Num 1. Abril 2018, 2018, pp. 73-86.
- [1] M. Castillo Tellez, Informe técnico. Proyecto FOP04-2021-03-319524 "Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales", Conacyt, 2022.
- [1] Y. Avila Ortega, Variabilidad climática de la precipitación en el Estado de Campeche. Tesis en opción al Título de Licenciado como Ingeniero Civil y Administración., San Francisco de Campeche, 2023.
- [1] M. Castillo-Telles, «Antecedentes del secado del pescado,» CONACYT, 2022.
- [1] J. J. Guevara Velázquez y S. A. Pinilla Góngora, *Diseño de una planta de evisceración de pescado para la empresa Agroindustrial y Comercial 3C Ltda. En Aipe Huila.*, Bogotá, 2004.
- [17] R. Muther , Distribución en planta, Hispano Europea, 1981.



33 Estudio experimental y evaluación del comportamiento térmico en cocinas solares tipo caja en un clima cálido-húmedo

Christopher Ignacio Nunez Nino^a, Marian Rodriguez Aguilar^a, Joahan Jaret García Narvaez^a, José Saúl Raigoza Bárcenas^a, Alexandre Oscenda Hee^a, Thomas B. Pascal Toussaint Dubois^a, Anthime Geibig Hubert^a, Hugo Roussel Guilloret^a, Margarita Castillo Téllez^b

^aAlumnos Facultad de Ingeniería

^bDepartamento, Universidad, Ciudad, País.

Universidad Autónoma de Campeche, C.P. 24085, Campeche, Campeche, México, 981-811-98-00, www.uacam.mx

Autor de correspondencia: mcastill@uacam.mx

Resumen

La radiación solar es una fuente de energía renovable que puede ser aprovechada en el sector doméstico de forma simple como intensidad luminosa o calor. Actualmente existen dispositivos que aprovechan la radiación solar para tareas específicas como calentamiento de agua, deshidratación de alimentos, generación de electricidad, refrigeración y cocción de alimentos. Las cocinas solares son termoconvertidores que aprovechan la energía del sol para generar poder calorífico suficiente que permita la cocción de alimentos en intervalos de tiempo variados. Por lo general, estos sistemas son semi-estacionarios, porque requieren orientación continua hacia el sol, para tener mejor aprovechamiento de la energía solar. En este trabajo se presentan los resultados experimentales obtenidos con la construcción de dos prototipos de cocinas solares de tipo caja. Las pruebas se realizaron en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada entre los paralelos 19°51'00" de latitud norte, y entre los meridianos 90°31'59" de longitud oeste, los parámetros climáticos máximos medidos durante las pruebas fueron: irradiación solar máx.: 666 W/m² y min: 19



W/m²; humedad relativa, 67 % y temperatura ambiente, 35 °C. Los resultados experimentales mostraron que la cocina solar tipo caja obtuvo mayores temperaturas alcanzando una temperatura máxima alcanzada por las cocinas solares fue de 120 °C en la cámara de cocción. Las dos cocinas evaluadas mostraron un comportamiento térmico semejante.

Palabras clave: Radiación solar, cocina solar, cocción, temperatura.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, en la actualidad la cocina tradicional provoca un alto nivel de contaminación en las viviendas y causa alrededor de 1.6 millones de muertes prematuras cada año, principalmente en mujeres y niños.

Las cocinas solares se presentan como la solución idónea para estos problemas, que ofrecen otros campos de utilización, siempre con el carácter favorable tanto desde el punto de vista ecológico como económico con el uso de tecnologías que combinan la energía solar y la eficiencia energética. La combinación de ollas solares, cestas aislantes y cocinas eficientes energéticamente puede reducir el uso de combustible en un 85 %. A medida que las cocinas solares se vuelven más accesibles y eficientes, su adopción generalizada puede transformar no solo la forma en que cocinamos, sino también cómo abordamos los desafíos energéticos y medioambientales que enfrenta nuestro mundo. [1]

Objetivo

El objetivo de esta metodología es establecer un protocolo de instrumentación para medir de manera precisa y sistemática las temperaturas en dos cocinas solares, con un volumen de control de 1 litro de agua, en múltiples ubicaciones clave. Estas mediciones son esenciales para evaluar la eficiencia de las cocinas solares en el proceso de cocción.



Materiales y Equipos

- 2 cocinas solares
- 2 recipientes metálicos con tapas de vidrio
- 2 equipos de medición de temperatura (10 sensores de temperatura tipo DS18B20)
- 2 volúmenes de control (2 L de agua, 1 L para cada cocina)

Metodología

Se seleccionaron dos tipos de cocinas solares, la primera (cocina 1) es una cocina tipo caja con espejo reflector (44.5 cm x 44.5 cm x 43 cm) y la segunda (cocina 2) fue una cocina tipo caja con cuatro aletas reflectora (43.5 cm x 44.5 cm x 33.5 cm). Se preparó uniformidad de condiciones iniciales en ambas cocinas solares, incluyendo su posición, su orientación al sur y se colocó un volumen de control de 1 litro de agua a temperatura ambiente en cada una de las cocinas.

Se colocaron los equipos de medición que incluían sensores de temperatura tipo DS18B20 en cada una de las dos cocinas solares. Cada equipo de medición contiene 5 sensores por lo que se escogieron ubicaciones específicas en cada cocina (Tabla 1) (ilustración 3).



Ilustración 1. Cocina solar tipo caja con espejo reflector



Ilustración 2. Cocina solar tipo caja con aletas reflectoras



Tabla 17. Ubicación de los sensores en las cocinas

Ubicación	Número de sensor (Cocina 1)	Número de sensor (Cocina 2)
Temperatura del agua	0	9
Temperatura dentro de la cocina	7	3
Temperatura afuera de la cocina	4	6
Temperatura al fondo del recipiente	8	1
Temperatura en el vidrio	5	2



Ilustración 29. Instrumentación de las cocinas solares

La medición se realizó durante un lapso de 4 horas solares (comenzó a las 13:00 hrs y terminó a las 17:00 hrs), en las que este registro se realizó de manera automática, a través del empleo de un sistema de adquisición de datos que registra automáticamente los valores de temperatura a intervalos regulares. En esta ocasión el equipo de medición registró las temperaturas en las cocinas en intervalos de 30 minutos en las ubicaciones predeterminadas.

Resultados del Comportamiento Térmico del Sistema

En la experimentación realizada con cocinas solares en la Facultad de Ingeniería (Campus V) de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada a 17°49' y 20°51'; de latitud norte y 89°06'; y 92°27'; de longitud oeste, Campeche, Camp., se obtuvieron

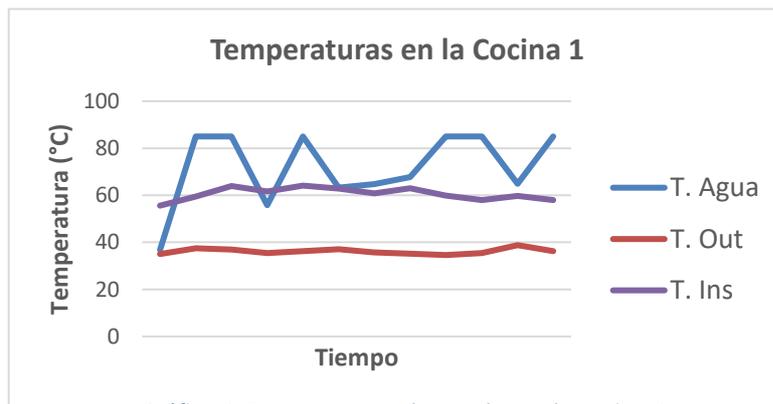


resultados significativos que reflejan la capacidad de estas cocinas para aprovechar la energía solar y cocinar alimentos de manera sostenible.

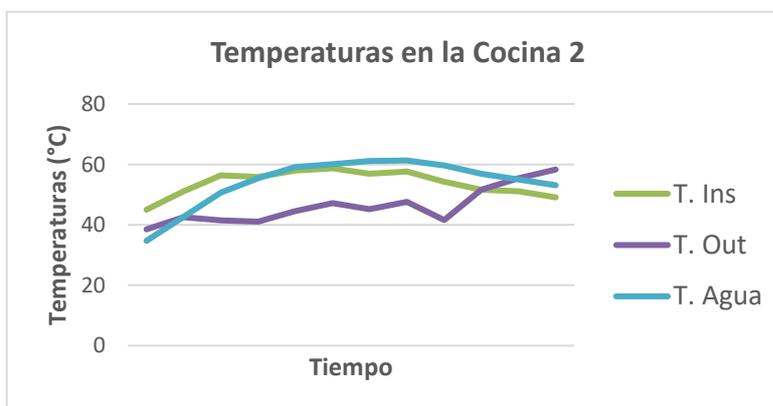
Tabla 18. Resultados obtenidos en las cocinas

Indicadores	Cocina 1	Cocina 2
Temperatura Máxima (°C)	85 °C	66.7 °C
Potencia Máxima Generada (W)	30 W	12.4 W
Eficiencia Máxima (%)	32%	9%

La Cocina 1 alcanzó una temperatura máxima de 85°C en un período de 4 horas, mientras que la Cocina 2 llegó a 66.7°C en 3.5 horas, con una posterior disminución en la temperatura (Gráfica 1 y 2).



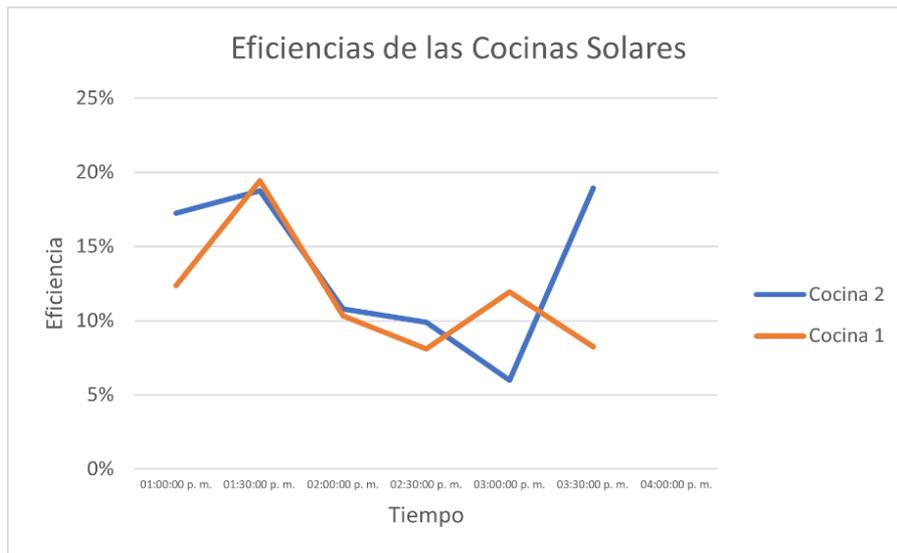
Gráfica 1. Temperaturas alcanzadas en la cocina 1



Gráfica 2. Temperaturas alcanzadas en la cocina 2



En cuanto a la potencia máxima generada, la Cocina 1 produjo 30 W, mientras que la Cocina 2 generó 12.4 W, observándose una diferencia significativa a favor de la Cocina 1. Por lo tanto, en términos de eficiencia máxima, la Cocina 1 logró una eficiencia del 30%, indicando su capacidad para convertir eficazmente la radiación solar en energía térmica utilizable.



Gráfica 3. Eficiencias alcanzadas en las dos cocinas

Conclusiones

A pesar de las similares condiciones iniciales, la cocina solar tipo caja con espejo reflectante tuvo una mayor eficiencia ante la cocina solar tipo caja con aletas reflectantes, comprobando así que estas cocinas pueden mantener temperaturas suficientemente altas para cocinar alimentos de manera segura y eficiente, lo que las convierte en una opción viable para comunidades que buscan mejorar sus condiciones de vida y reducir los costos de energía. A través de este estudio, hemos comprendido que las cocinas solares no son solo una tecnología innovadora, sino también una herramienta poderosa para combatir la deforestación, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad de vida en comunidades sin acceso confiable a la electricidad.



Agradecimientos

Agradecemos a los alumnos inscritos en el curso de sistemas solares de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche del 7mo semestre, por la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Pineda, J. C. (2014). Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico. INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. (S.F). (201



34 Sanidad e inocuidad: Codex Alimentarius y normatividad alimentaria

Dr. Alfredo Domínguez Niño^{a*}, Catedrático del CONACyT, Mtra. Ana María Lucho Gómez^b, Posgrado en Ingeniería, Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa^c, Decano

• aldoni@ier.unam.mx

^{a*,b,c} Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Cerrada Xochicalco s/n, Colonia Centro, Temixco, Morelos, 62580, México

Resumen

Actualmente la producción de alimentos es suficiente para cubrir las necesidades de la población mundial, sin embargo, existen problemas asociados al sistema alimentario como son: una distribución inadecuada, una pobre disponibilidad y la falta de recursos económicos, para obtener una alimentación de calidad, saludable e inocua. Lo anterior provoca que la hambruna obligue al consumo de alimentos y agua, que no tienen la mínima calidad sanitaria, lo que provoca graves problemas de salud e inclusive la muerte.

En el presente trabajo se analiza por una parte, la problemática derivada de la falta de una adecuada sanidad e inocuidad alimentaria, la cual, afecta no solo la salud, sino también la seguridad alimentaria, la economía y el bienestar social de la población mundial y por otra la normatividad internacional en particular el Codex Alimentarius, en donde se describe su contenido y su aplicabilidad, así también, se enlistan algunas de las leyes, normas y reglamentos vigentes que regulan la necesaria sanidad e inocuidad alimentaria.

Palabras clave: sanidad e inocuidad alimentaria, Codex Alimentarius, HACCP, normatividad alimentaria.

Abstract

The current food production is sufficient to meet the needs of the world's population. However, there are problems associated with the food system, such as inadequate distribution, limited availability, and a lack of economic resources to obtain quality, healthy, and safe food. This leads to situations where famine forces the consumption of food and water that do not meet minimum sanitary standards, resulting in serious health problems and even death.

In this paper, two main aspects are analyzed. Firstly, the issues arising from the lack of adequate food safety and sanitation, which not only affect health but also food security, the economy, and the social well-being of the global population. Secondly, international regulations are discussed, particularly the Codex Alimentarius, describing its content and applicability. Additionally, current laws, standards, and regulations governing the necessary food safety and sanitation are also considered.



1. Introducción

En general la mayor parte de los alimentos de consumo humano, son perecederos, con una vida útil limitada, dependiendo de su naturaleza y de la exposición a factores externos: aire, humedad, temperatura, o productos de muy diferente naturaleza, así como condiciones físicas, químicas y biológicas que favorecen el desarrollo y la propagación de microorganismos: bacterias, hongos, levaduras y virus y las posibilidades de contaminación o cruzada, a lo largo de la cadena alimentaria, desde su producción, transporte, almacenamiento, procesamiento, manipulación y preparación hasta su consumo final, favoreciendo su deterioro, con pérdida parcial o totalmente de sus propiedades organolépticas, nutritivas y medicinales, convirtiéndose en portadores y transmisores de enfermedades, ETA.[1]

1.1. La alimentación y su inocuidad en el Mundo

La organización mundial de la alimentación y de la Agricultura, FAO, estima que más de 670 millones de adultos y 120 de menores (5 a 19 años) son obesos y más de 40 millones de ellos tienen sobrepeso, mientras que más de 800 millones de personas padecen hambre y una de cada 3 mujeres en edad reproductiva, padece anemia. [2]

Los alimentos contaminados causan cientos de enfermedades, desde la diarrea hasta el cáncer. Se calcula que unos de cada diez se enferman después de consumirlo y en el caso de los menores de cinco años, un tercio de las muertes se deben a enfermedades transmitidas por los alimentos. Los alimentos no inocuos son una verdadera amenaza para la salud humana y la economía en general, afectando preponderante a las poblaciones vulnerables y marginadas, en especial a mujeres y niños, en situaciones de pobreza, conflictos y migración. Lo anterior ha originado cerca de 420,000 muertes al año por consumo de alimentos contaminados, en particular la morbilidad infantil menores de 5 años, alcanzó el 25.5% del total, equivalente a 125,000 muertes al año. En cuanto a las pérdidas económicas se han estimado en miles de millones de USD al año [3].

Por consiguiente, es fundamental contar con prácticas adecuadas y eficaces de higiene e inocuidad, a lo largo de todo el sistema alimentario para reducir significativamente los riesgos de contaminación, lo mismo que las pérdidas del producto, y contribuir a lograr una vida saludable con una mejor bienestar económico y social.

1.2 Higiene e inocuidad alimentaria

La higiene y la inocuidad alimentaria son dos conceptos diferentes que se requiere de su combinación para garantizar el acceso seguro a los alimentos.



La higiene alimentaria consiste de una serie de medidas adoptadas con el propósito de garantizar la inocuidad de los alimentos y conservar sus propiedades nutrimentales, [4]

La inocuidad alimentaria se refiere a la seguridad y calidad de los alimentos que se consumen, es decir, que no deben de contener elementos dañinos o tóxicos, residuos de pesticidas, así como la presencia de la contaminación cruzada, es decir el contacto con otros alimentos o superficies

La inocuidad debe estar presente en todos los eslabones de la cadena alimentaria para garantizar la seguridad alimentaria, es decir, que todos puedan disponer de alimentos seguros, nutritivos y suficientes. La inocuidad alimentaria se asegura por medio de la regulación y cumplimiento de normas de seguridad alimentaria y la implementación de sistemas de gestión de inocuidad alimentaria, entre otras. [5,6,7]

1.3 Organismos internacionales de sanidad e inocuidad alimentaria

A nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas, cuenta con agencias que trabajan por la seguridad alimentaria: Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura, FAO, Organización Mundial de la Salud, OMS, El programa Mundial de Alimentos, el Banco Mundial (BM) y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, FIDA, [1].

Tomando algunos ejemplos, de organismos internacionales dedicados a la sanidad e inocuidad alimentaria: En Europa se cuenta con la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA); en España con la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, AESAN, en donde se ha establecido el Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria, PNCOCA; en Canadá, la Canadian Food Inspection Agency, CFIA, encargada de los servicios de inspección de sanidad animal y vegetal, así como de la producción y comercialización de alimentos. En Estados Unidos, la agencia: Food Drug Administration, FDA, del Depto. De Salud y Servicios humanos, es la responsable de la seguridad y protección del suministro, de alimentos, fármacos, cosméticos, suplementos dietéticos y productos que emiten radiación, a excepción de la carne de ganado, aves de corral y algunos productos derivados del huevo, regulados por el Departamento de Agricultura, USAD. En Centro América se cuenta con los respectivos Comités Técnicos de Normalización y de Reglamentación Técnica de los Países de la Región Centroamericana, con representantes de los sectores académico, consumidor, empresa privada y Gobierno. El Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.54:10 Alimentos y Bebidas. Aditivos Alimentarios; fue adoptado por los Subgrupos de Alimentos y Bebidas y de Medidas de Normalización de la Región Centroamericana, [7].

En México, la Secretaría de Salud, a través de la ley general de Salud y de la Comisión Federal para la protección contra riesgos sanitarios, COFEPRIS, encargada de la regulación, control y fomento sanitario de productos y servicios,



de la importación y exportación, así como de los establecimientos dedicados al procesamiento de alimentos, elaboraron el reglamento de control sanitario de productos y servicios. [8] El servicio nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad agroalimentaria, SENASICA, es el encargado de aplicar las medidas preventivas a través de los Sistemas de Reducción de riesgos de contaminación, (SRRC), elaborando manuales y de buenas prácticas agrícolas, pecuarias acuícolas y pesqueras, así como un uso adecuado de agroquímicos. Se cuenta con Manuales de buenas prácticas en la producción de origen animal, vegetal y acuícola y pesquera. Los manuales y guías han sido publicados por la SENASICA y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., CIAD. Cabe mencionar que el SRRC, tiene establecido un proceso de certificación y reconocimiento en sistemas de reducción de riesgos de contaminación, a través del cumplimiento de medidas de inocuidad en procesos productivos, con 15 módulos de implementación, [9,10].

1.3.1. *Normativa sanitaria internacional*

Es fundamental contar con prácticas adecuadas y eficaces de higiene e inocuidad, a lo largo de todo el sistema alimentario para reducir significativamente los riesgos de contaminación, lo mismo que las pérdidas del producto, y contribuir a lograr una vida saludable con una mejor bienestar económico y social.

En cuanto a la normalización internacional se cuenta con la norma ISO-22000 de sistemas de gestión de inocuidad alimentaria, para garantizar la seguridad alimentaria durante la cadena de suministro, desde su producción hasta su consumo. Es un sistema de calidad preventiva compatible con las normas internacionales y puede aplicarse, a cualquier tipo de organización. [11]

De manera conjunta y coordinada la FAO y la OMS, han desarrollado Códigos y Procedimientos de sanidad, para establecer y garantizar la inocuidad alimentaria, siendo el más importante el Codex Alimentarius, (CA) el cual se ha tomado como referencia, para que cada país, establezca su propia normatividad, aplicando las buenas (BPH) y buenas prácticas de manufactura, con base a sus propias necesidades, cultura, economía, idiosincrasia, creando en lo posible un sistema alimentario libre de contaminación.

2.0 Codex Alimentarius, (CA).

En 1961 en la Conferencia de la FAO, se decide establecer una Comisión del Codex Alimentarius y solicita a la OMS crear un programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. En 1962 en la Conferencia Conjunta FAO/OMS sobre Normas Alimentarias pide a la Comisión del Codex Alimentarius, (creada un año antes), que aplique un programa sobre normas alimentarias y se cree el Codex Alimentarius en 1963. [11]



El Codex Alimentario, (CA) proporciona un marco de principios generales para la producción de alimentos inocuos y aptos para el consumo, al establecer los controles necesarios de higiene y de inocuidad de los alimentos que se deben aplicar en la producción (incluida la producción primaria), elaboración, fabricación, preparación, envasado, almacenamiento, distribución, venta al por menor, operación de servicios de comidas y transporte de alimentos y, cuando corresponda, medidas específicas de control de la inocuidad de los alimentos en determinadas fases de la cadena alimentaria. Lo anterior contribuirá a crear confianza en los consumidores al adquirir alimentos saludables y de calidad y a los importadores, en que los alimentos se ajustan a sus especificaciones.

El CA, está dirigido a los Operadores de Empresas de Alimentos, (OEA): productores primarios, importadores, fabricantes o elaboradores, operadores de almacenes o de logística, operadores de servicios alimentarios, minoristas y los operadores. [12]

2.1 Contenido

El CA, contiene 236 normas, 84 directrices, 56 códigos de prácticas, 126 niveles máximos de contaminantes en los alimentos y más de 10,000 normas cuantitativas que regulan los niveles máximos de aditivos alimentarios y los límites máximos de residuos de plaguicidas y medicamentos veterinarios en los alimentos.

El CA está estructurado básicamente en dos capítulos, el primero se refiere a las buenas prácticas de higiene, y el segundo al Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control.

2.1.1. Buenas prácticas de higiene

Las buenas prácticas de higiene (BPH) y el Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control, HACCP, contenidas en el CA, proporcionan los principios y orientaciones sobre la aplicación de BPH a lo largo de toda la cadena alimentaria para proporcionar alimentos inocuos para el consumo y constituir una base que establezca los códigos de prácticas del sector y específicos para los productos.

El Capítulo de BPH consta de nueve secciones y tres anexos: a) Introducción y control de los peligros alimentarios, b) Producción primaria, c) Establecimiento-Diseño de las instalaciones y equipo, d) Capacitación y Competencia e) Mantenimiento, limpieza, desinfección y control de plagas, f) Higiene personal, g) Control de operaciones, h) Información sobre los productos y sensibilización del consumidor y i) Transporte.

2.1.2 Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control, HACCP (siglas en inglés)



El HACCP es un instrumento para evaluar los peligros y establecer sistemas de control que se centran en las medidas de control para los peligros significativos a lo largo de la cadena alimentaria, en lugar de basarse principalmente en realizar pruebas sobre el producto final. El desarrollo de un sistema HACCP puede identificar la necesidad de realizar cambios en los parámetros de elaboración, en las etapas de elaboración, en la tecnología de fabricación, en las características del producto final, en el método de distribución, en el uso previsto o en las BPH aplicadas. El HACCP consta de tres secciones:

Sección 1. Principios del sistema HACCP. El diseño, la aplicación y la validación del sistema HACCP se realiza siguiendo los siete principios siguientes: Principio 1; Realizar un análisis de peligros e identificar medidas de control. Principio 2: Determinar los puntos críticos de control (PCC). Principio 3; Establecer límites críticos validados, Principio 4; Establecer un sistema de vigilancia del control de los PCC. Principio 5; Establecer las medidas correctivas que han de adoptarse cuando la vigilancia indica que se ha producido una desviación con respecto a un límite crítico en un PCC. Principio 6: Validar el plan HACCP y luego establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el sistema HACCP funciona según lo previsto. Principio 7; Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación.

Sección 2: directrices generales para la aplicación. Flexibilidad para las empresas pequeñas de alimentos o menos desarrolladas.

Sección 3. Aplicación. Fase 1: Reunir un equipo de trabajo (HACCP) e identificar el ámbito de aplicación, Fase 2: Descripción del producto, Fase 3: Determinación del uso y de los usuarios previstos, Fase 4; Elaboración de un diagrama de flujo, Fase 5: Confirmación in situ del diagrama de flujo, Fase 6 (principio 1) Listar los peligros potenciales y probables relacionados con cada fase, realizar un análisis de peligros para identificar los más significativos y examinar las medidas para controlar los peligros identificados. Fase 7: Determinación de los puntos críticos de control (principio 2), Fase 8: Establecimiento de los límites críticos para cada PCC (principio 3), Fase 9: Establecimiento de un sistema de vigilancia para cada PPC (principio 4), Fase 10: Determinación de medidas correctivas (principio 5), Fase 11: Validación del plan HACCP y procedimientos de verificación (principio 6), Fase 12: Determinación de la documentación y mantenimiento de registros (principio 7). Capacitación. [13]

Conclusiones y recomendaciones

Es prioritario aplicar las acciones de: prevención, detección y gestión de los riesgos de transmisión de enfermedades por los alimentos contaminados, incorporando la inocuidad alimentaria en la agenda pública, con el cumplimiento de las normas alimentarias, mundiales y nacionales, de las regulaciones eficaces



de control alimentario, del acceso al agua potable, así como del seguimiento de las buenas prácticas agrícolas, pesqueras y acuícolas, ganaderas, hortícolas, así como aquellas asociadas a la industria alimentaria en general.

Referencias

- [1] OMS. Alimentación en el Mundo. Contaminación de los alimentos. ISBN 978-92-5-137956-1
- [2] FAO. FIDA, OMS, PMA, UNICEF. La seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Roma, 2023. <https://doi.org/10.4060/cc6550es>
- [3] ONU. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. <https://www.un.org/es/global>
- [4] FAO. Inocuidad y calidad de los alimentos. <https://www.fao-arg>
- [5] OPS-OMS. Organización Panamericana de la Salud, Inocuidad de alimentos. www.paho.org/es/temas-imocuidad.
- [6] OMS. Food Safety. <https://www.who.int/health-topics/food-safety>
- [7] OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. "Manual de procedimientos básicos de Análisis de Riesgo en Inocuidad Alimentaria". Julio 2018
- [8] COFEPRIS. Certificación de alimentos. transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas/alimentos.
- [9] SENASICA-SRRC.. Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria y Sistemas de reducción de riesgos de contaminación <https://www.agricultura.gob.mx/datos-abiertos/senasica>
<https://sistemasss.senasica.gob.mx/SRRC/inicio> del sistema de certificación
- [10] DGSAINCA. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-de-apoyo-de-los-sistemas-de-reduccion-de-riesgos-de-contaminacion>
- [11] FAO, OMS, Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias Comisión del Codex Alimentarius: Higiene de los alimentos. Textos Básicos, ed. 3 (CAC/RCP 1-1969, rev. 4, 2003). <http://www.fao.org/docrep/009/y5307s/y5307s02.htm>.
- [12] CAC (Comisión del Codex Alimentarius); Principios y directrices para la selección de productos representativos con miras a la extrapolación de límites máximos de residuos para grupos de productos, CXG -2012, enmendados, Roma, 2017.
- [13] FAO. OMS, Codex Alimentarius, International Food Standards. 2011, General Principles of Food Higiene (CXC1-1969) revisada en 2022, Ed. Corrections .





35 Diseño y construcción de un sistema de secado solar agroindustrial, móvil, autónomo y autocontenido.

Mario Nájera-Trejo ^{a*}, Erick César López-Vidaña ^b, Jorge A. Escobedo Bretado ^a,
Ismael Hernández Landeros ^a, Ignacio R. Martín-Domínguez ^a y Sergio Valle Cervantes ^c

^a *Ingeniería Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Durango, México.*

^b *Investigador por México CONAHCYT - Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Durango, México.*

^c *Tecnológico Nacional de México, Campus Durango, México.*

*mario.najera@cimav.edu.mx

Resumen

La pérdida y desperdicio de alimentos es un problema que aqueja a todos los países en diferentes proporciones; se ha estimado que representa más del 30% de la producción global de alimentos. Por otro lado, en el mundo existen 2,370 millones de personas con inseguridad alimentaria moderada o grave y la mayor parte de estas personas se encuentran en países en desarrollo, especialmente en comunidades rurales [1]. Por su parte, en México se estima que se desperdicia aproximadamente el 35% de los alimentos (12.5 millones/ton/año), que podrían evitar el hambre de 4.9 millones de mexicanos con algún tipo de inseguridad alimentaria o generarían aproximadamente 480 mil millones de pesos si se aprovecharán de alguna manera [2]. Estas pérdidas se dan en las primeras etapas de la cadena de suministro, debido a la escasa infraestructura y tecnologías para la cosecha, manejo y almacenamiento de los alimentos y esto se observa principalmente en países en vías de desarrollo [3]. Por lo anterior se diseña y construye un sistema para el secado solar de productos agroindustriales y pecuarios, que sea autocontenido y autónomo, transportable a cualquier sitio, que permita la generación in situ de datos de ingeniería para el diseño de sistemas de tamaño comercial, a partir de su operación con diversos productos y en diversas regiones geográficas, y que sirva para



demostrar, a su vez, la funcionalidad y rentabilidad de la tecnología de secado solar a la comunidad académica y a los productores rurales. En este trabajo se muestran los resultados del diseño mecánico, diseño térmico mediante simulación numérica.

Palabras clave: secado solar; sistema móvil y autónomo; calor solar; procesos industriales; poligeneración energética.

Introducción

Uno de los principales retos hoy en día, es el de diseñar sistemas tecnológicos que permitan aprovechar la energía solar térmica y fotovoltaica para su integración en diversos procesos de tipo industrial, agrícola, comercial y domésticos, entre otros, para suplir la demanda energética necesaria para su operación. Dichos procesos incluyen la transformación, preservación y conservación de materias primas, alimentos, productos manufacturados, procesos de separación etc., que requieren calentamiento o enfriamiento de algún fluido de trabajo y/o accionamiento mecánico. La sustitución de fuentes convencionales de energía y de electricidad de la Red Eléctrica Nacional, mediante el uso de Energía Solar, requiere introducir cambios sustanciales en el diseño de cualquier sistema de proceso ya existente, o diseñar nuevos sistemas casi desde cero. Para desarrollar tales sistemas de forma eficiente, se recomienda utilizar la metodología basada en la modelación numérica de dispositivos y sistemas, para con ello poder simular el desempeño térmico e hidráulico de cualquier diseño. Con ello se puede predecir su desempeño y estimar los costos de inversión y de operación, para evaluar la rentabilidad de diversas configuraciones y diseños, y así poder optimizar técnica y económicamente cualquier sistema, antes de construirlo. Sin embargo, a menudo la teoría y la práctica tienen discrepancias debido a diferentes consideraciones en la definición del problema a resolver. Por ello, en la Unidad Durango del CIMAV se ha estado diseñando y construyendo en etapas, un sistema experimental modular llamado Sistema de Calentamiento Agua/Aire Multipropósito (SCAAM), que sirve de apoyo para suministrar energía térmica y electricidad de origen solar a diversos prototipos de procesos que se desarrollen, con el propósito de validar técnica y económicamente los conceptos desarrollados, antes de su escalamiento a nivel comercial. El SCAAM es un sistema experimental que está compuesto por colectores solares para calentamiento de agua, almacenamiento térmico y módulos fotovoltaicos. Este sistema ha sido diseñado para ser autónomo, utilizando energía solar térmica para satisfacer las necesidades de calor y energía fotovoltaica para satisfacer la demanda de electricidad. Los colectores solares térmicos se utilizan para convertir la radiación solar en energía térmica, que el agua se encarga de transportar hasta los tanques de almacenamiento térmico. El agua fluye impulsada por una



bomba, alimentada por un sistema fotovoltaico. Actualmente el SCAAM se encuentra interconectado con otro desarrollo experimental consistente en una cámara fija de secado, de tipo mixto. En ella, un intercambiador de calor compacto transfiere el calor del fluido proveniente del SCAAM hacia al aire de secado, que es forzado a fluir desde el exterior, con condiciones ambiente, hacia dentro de la cámara de secado por medio de un ventilador axial, dándole la capacidad al aire de tener un mayor gradiente de humedad y temperatura con respecto al producto que se desea secar. Finalmente, la energía no transferida al aire vuelve al almacenamiento térmico. Este nuevo sistema móvil ha sido diseñado para que pueda adaptarse a diferentes capacidades de funcionamiento, caudales y/o temperaturas de operación. Con ello se logra experimentar con diferentes productos, cantidades y protocolos de secado. La cámara de secado es de tipo túnel con espigueros que soportan bandejas de secado en las que se colocan los alimentos. También está equipado con sensores de peso que registran la pérdida de masa del producto, sensores de humedad relativa y temperatura que monitorean en tiempo real las variaciones. La cámara de secado de tipo mixto tiene la capacidad de secar utilizando la radiación solar directa y la energía solar indirecta proveniente del SCAAM. El sistema ya ha sido probado durante casi un año, secando múltiples productos como tomates, ciruelas, manzanas, durazno, sandías y madera.

Una de las mayores barreras para la adopción de este tipo de tecnologías, en el sector productivo primario, es el desconocimiento de las posibilidades de producción y comercialización de los diversos productos agrícolas deshidratados. Otro factor es el desconocimiento de las tecnologías solares disponibles en el mercado y que pueden adaptarse para la obtención de productos alimenticios deshidratados de alta calidad. Así mismo se desconoce la rentabilidad económica que se puede obtener en su uso a nivel comercial. Uno de los objetivos de este proyecto es promover el uso de la tecnología solar en estos sectores productivos para la posible preservación, dar valor agregado y comercialización de una gran variedad de productos agroindustriales que en ocasiones por motivos estéticos o de madurez no pueden comercializarse. Desafortunadamente existen comunidades que han sido empujadas al borde de la pobreza y la explotación debido a la dependencia de los productores respecto a la comercialización inmediata de sus cosechas, mediante intermediarios que ofrecen bajos precios de compra inmediata, aprovechándose de la naturaleza perecedera de la mayoría de los productos cosechados y la necesidad de llevarlos al mercado rápidamente.

La premura para la movilidad y comercialización de sus productos es una de las principales barreras para que los agricultores administren, procesen y/o comercialicen con ventaja sus productos. Por ello se estima que el acceso a sistemas de preservación, como el secado, puede permitir la comercialización adecuada y rentable para los pequeños y medianos productores agrícolas, además de ser una forma sostenible de reducir el desperdicio de alimentos y la pobreza de este sector poblacional vulnerable. Otra pregunta que se pretende responder es ¿Cuál es el nivel



de aceptación de estas tecnologías para la conservación de alimentos en las comunidades productoras? Por lo anterior, recientemente se ha trabajado en el diseño y construcción del conjunto SCAAM - Secador en una plataforma (estructura) que permita su movilidad (Figura 2) a comunidades productivas dedicados a actividades agrícolas, con la finalidad de llevar a cabo experimentación en sitio y demostrar la operación de un secador solar autónomo para obtener productos con mayor valor y vida útil. Este prototipo tiene como objetivo la generación de datos de ingeniería para el posterior diseño de sistemas de tamaños comerciales de secado. Esto permitirá la reducción de pérdidas de alimentos que se producen en las etapas de postcosecha y almacenamiento, mediante la utilización eficiente y rentable de energía solar para fines de secado.

Se prevé que el sistema aquí presentado se pueda escalar fácilmente en un sistema piloto más grande y con mayor capacidad en caso de mayor demanda, o en sistemas estacionarios más grandes si se requiere. Además, se puede replicar en otros países con necesidades y recursos similares. Sin embargo, las barreras potenciales pueden involucrar ubicaciones con condiciones climáticas críticas, como baja irradiación solar y humedad ambiental alta. Con el trabajo conjunto de agricultores y pequeños productores, se podrá tener la capacidad de generar datos de ingeniería para diseño de sistemas comerciales de secado y evidencia que ayude a mejorar las redes de comunicación para difundir este tipo de tecnologías, y así garantizar la adopción gradual para disponer de nuevos métodos de producción y consumo. Por otra parte, esta evidencia generará información para los gobiernos locales y nacionales para la generación de políticas públicas que ayuden a reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos al mismo tiempo que generan una mejor economía y condiciones favorables para las comunidades productivas vulnerables.

El sistema aquí propuesto estará diseñado para ser simple en su operación, que no requiera una capacitación técnica especial y que pueda ser operado por cualquier persona de estas comunidades productivas en el que las mujeres representan alrededor de la mitad de la fuerza laboral, así mismo puede ser una alternativa para adultos mayores o jóvenes que por algún motivo no se encuentren estudiando. Por lo tanto, esto podría tener un impacto adicional hacia el empoderamiento de las mujeres, especialmente porque juegan un papel clave en el desarrollo de las economías rurales. La implementación de este prototipo puede ayudar en la producción de productos de calidad que se pueden comercializar entre la comunidad, mejorando la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza.



Metodología

Simulación dinámica del sistema propuesto.

Se realiza una simulación dinámica en TRNSYS para la validación de la capacidad de transferencia de calor entre el sistema SCAAM y la cámara de secado diseñada. Uno de los resultados buscados es la temperatura del aire en la cámara de secado a lo largo del año. Esta temperatura depende en mayor medida de la temperatura ambiente y la irradiancia solar. Para el fin mencionado anteriormente fue necesario construir un simulador utilizando Simulation Studio de TRNSYS 18 (Figura 1). Los componentes principales utilizados en la simulación se muestran en la Tabla 1. Se realizan algunas consideraciones como un horario de funcionamiento entre las 9 y 18 horas. El coeficiente global de transferencia de calor utilizado fue de 252.67 W/K en el intercambiador de calor, calculado a partir de los parámetros en la Tabla 2 cuyos valores fueron obtenidos por un trabajo experimental [4]. Por otro lado, la información climática utilizada corresponde a la de la ciudad de Durango, Durango, extraída de un TMY (Typical Meteorological Year) de Meteonorm.

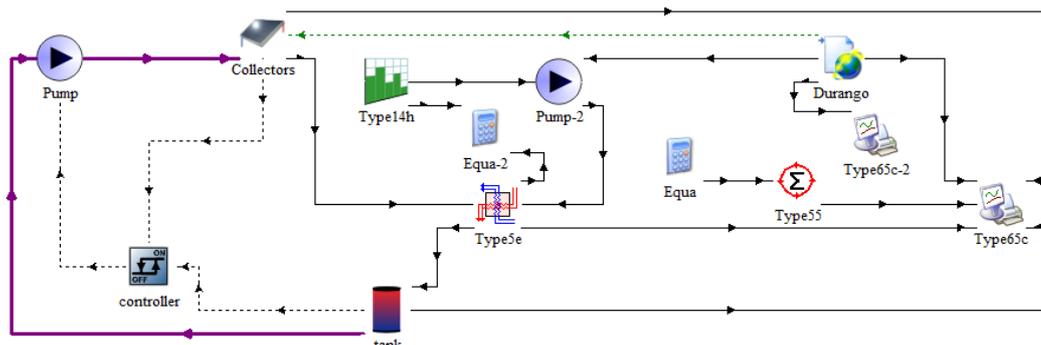


Figura 1. TRNSYS Simulation Studio. Fuente: Propia

Tabla 1. Principales componentes de la simulación.

Componente	Type	Marca	Modelo
Colector de placa plana	1	Bosch	SKW FCC220-2V
Tanque de almacenamiento	4a	Calorex	ST_80-CX
Intercambiador de calor	5e	Armas	i-10 ISAKA

Tabla 2. Parámetros de experimentales para la determinación del coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador de calor

T_{Ho} (°C)	T_{Hi} (°C)	T_{Co} (°C)	T_{Ci} (°C)	\dot{m}_H (kg/s)	\dot{m}_C (kg/s)
54.49	67.91	44.66	23.04	0.3	0.12



Diseño CAD de la integración en plataforma del conjunto Secador-SCAAM.

La figura 2 muestra el montaje de todos los dispositivos sobre una plataforma desmontable. Este diseño fue realizado utilizando el software de diseño computarizado Solidworks. Esta plataforma será transportada por un camión hasta el lugar de operación in situ y mediante mecanismos de desmontaje se podrá liberar del camión quedando sobre sus 4 soportes. Una vez que el sistema integral de secado se haya terminado de utilizar, los soportes levantarán la estructura hasta una altura que permita al camión poderla transportar nuevamente hasta su nuevo destino.

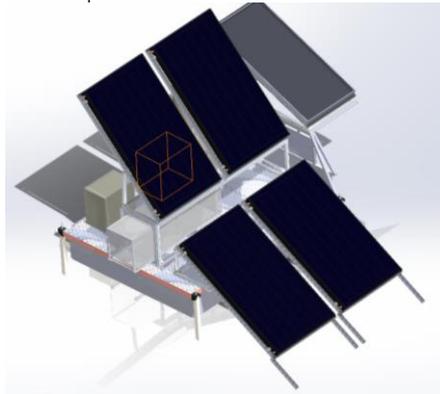


Figura 2. Diseño CAD. Fuente: Propia.

Resultados

La simulación del sistema se realizó mediante el uso del software TRNSYS con el que se obtuvo el comportamiento térmico a lo largo de un año típico. La Figura 3 muestra la temperatura promedio mensual, así como las temperaturas máximas alcanzadas en el mes. El incremento en la temperatura por el efecto radiativo del sol sobre la cámara de secado no se considera en este estudio.

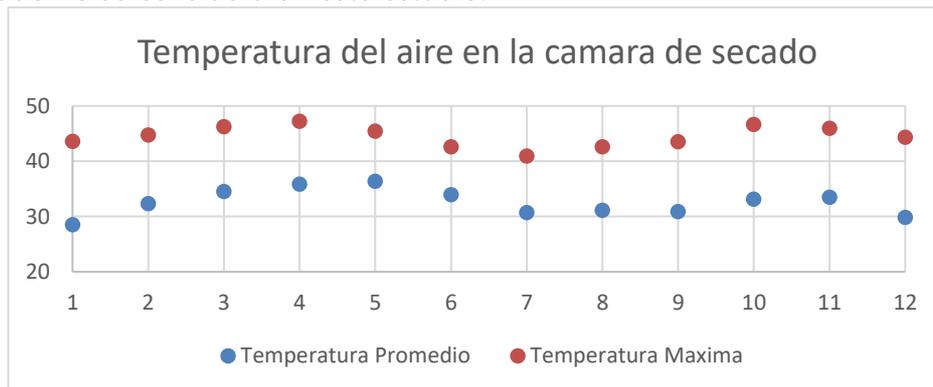


Figura 3. Temperatura del aire en la cámara de secado por cada mes. Fuente: Propia

La integración del prototipo se encuentra aún en desarrollo con un 80% de avance como se muestra en la Figura 4. por lo que los resultados experimentales no podrán ser incluidos en esta publicación.



Figura 4. Integración del sistema en la plataforma desmontable. Fuente: Propia.

Conclusiones

Fue posible determinar el comportamiento térmico del sistema utilizando simulación dinámica, sin embargo, los resultados obtenidos están sujetos a un conjunto de parámetros fijos en el intercambiador de calor. Estos parámetros fueron obtenidos experimentalmente, por lo que se pretende variar los flujos de agua y aire para incrementar la temperatura en la cámara de secado. Otro parámetro que afecta la temperatura en la cámara de secado es el ángulo de inclinación de los colectores, que se estableció a 50° en la simulación. Es necesario considerar que la plataforma tendrá la capacidad de ajustar el ángulo de inclinación de los colectores solares por lo que eso provocará una variación en la temperatura. La integración del prototipo se encuentra en un 80% y se pretende que esté operando a finales de octubre del presente año.

Referencias

- [1] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2021. "El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos". Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474es>
- [2] FAO. 2019. "The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction". Rome. <https://doi.org/10.4060/ca6030en>
- [3] D. Hoehn, R. Aldaco y M. Margallo. "Contribución a la gestión de las pérdidas y desperdicios de alimentos bajo un enfoque de pensamiento Nexus del ciclo de vida".
- [4] L. A. Valencia, E. C. López y M. Nájera. "Análisis técnico, económico y ambiental de un secador solar térmico-fotovoltaico con almacenamiento térmico".







36 Horno solar Heider

Jaime Adrian Briseño Ramirez^a, Brian Jesús de Alba Aguilar ^a, Mónica Camas-Náfate^{a*}

^a *Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Tonalá, Jalisco, México.*

*Mónica Patricia Camas Náfate; monica.camas9831@academicos.udg.mx**

Resumen

El horno solar es un aparato que sirve para cocinar diferentes tipos de alimentos, utilizando el sol como fuente de energía. Para este proyecto, buscamos evaluar y caracterizar el desempeño de cocción de este horno solar.

Los alimentos se cocinan gracias a la radiación solar captada en la caja y con la ayuda del aislamiento presente. Por tanto, la caracterización se ha realizado en base al alimento en cuestión. Así como, la evaluación de la participación del aislamiento del horno para el proceso mismo.

Para este proyecto se utilizó pescado, cuyas temperaturas de cocción fueron monitoreadas y caracterizadas, en conjunto con datos ambientales.

Introducción

En este Proyecto elaboramos un horno solar Heider a partir de cartón, una hielera y aluminio, en el cual realizamos una caracterización para determinar el tiempo de cocción del alimento utilizado; en este caso utilizamos filete de pescado. Este filete tiene una temperatura de cocción de 65°C y no se observó reducción en su masa ya que al cocinarlo encontramos que el fluido que hay en el proceso no es agua, ni aire, sino proteína.

La caracterización se realizó con los siguientes aparatos:

- termohigrómetro
- anemómetro
- Solarímetro
- Cámara termográfica
- termómetro para alimentos

Los resultados que obtuvimos fueron extraordinarios ya que la cabina (hielera) alcanzó a llegar hasta los 65°C de temperatura interna con oportunidad de aumentar más, mientras que el alimento alcanzó una temperatura de 70°C con oportunidad de aumentar más.

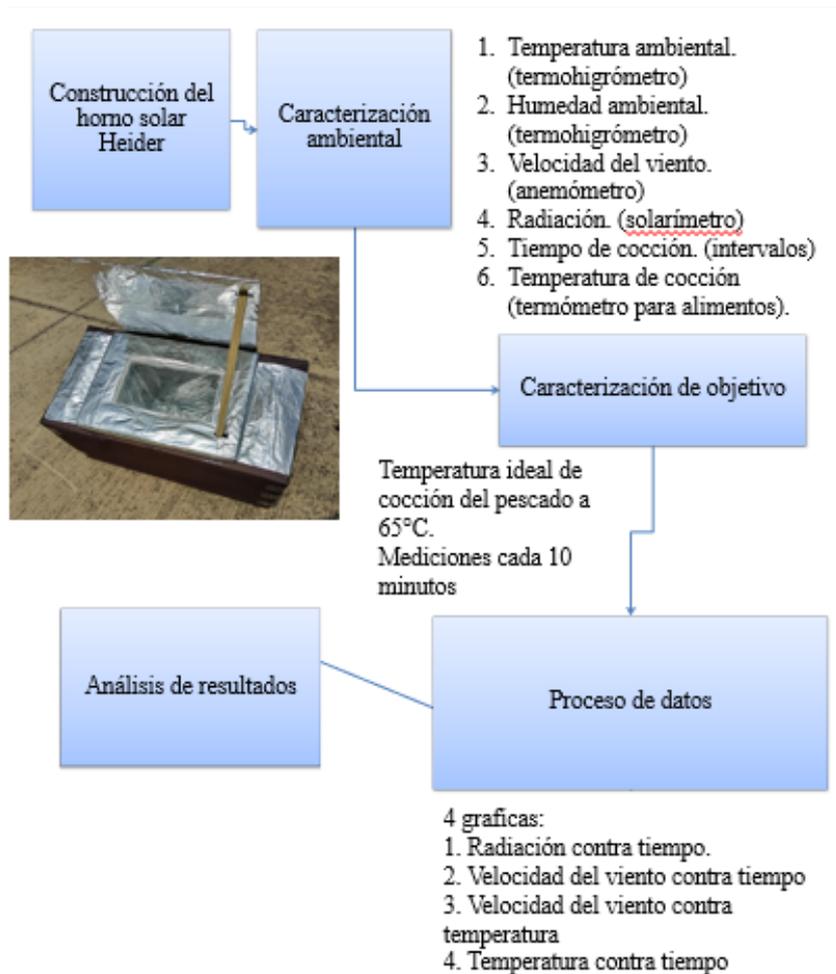


Y aunque en la caracterización tuvimos complicaciones ambientales (día nublado), alcanzamos a completar la caracterización antes de 2 horas (exactamente 1 hora y 40 minutos)

Objetivos:

- Caracterizar el comportamiento del horno solar Heider con respecto al recurso disponible (los rayos del sol).
- Identificar las características a evaluar.
- Llegar a la temperatura de cocción en el horno solar.

Metodología



Construcción del horno solar Heider

Se construyó con una caja de cartón con las siguientes medidas: 60x30x30cm y una hielera en su interior de 40x25x25cm (sin el grosor de la tapa), el restante se rellenó con aserrín para conservar la temperatura interior. También se le hizo dos ventanas



laterales de 10x5cm para poder observar el aserrín en el interior, y se forró la caja de cartulina negra y aluminio.



A la caja se le diseñó una pestaña forrada también de aluminio la cual funcionó como rebote de los rayos del sol hacia dentro de la cabina, a esto se le conoce como el "foco solar".

La hielera fue forrada de aluminio tanto en el interior como en el exterior y se colocó dentro de la caja con una cinta de doble cara para que no se moviera, después la caja fue rellena de aserrín y tapada con las pestañas de la misma caja para así evitar que se salga el relleno, además fue asegurada con cinta adhesiva. También se le hizo dos ventanas laterales de 10x5cm para poder observar el aserrín en el interior, y se forró la caja de cartulina negra y aluminio.



La tapa de la hielera fue modificada para colocarle un plástico duro (acrílico) con una medida de 20x15cm para ser añadida a la tapa donde se recibirá los rayos del sol. Cabe señalar que el horno solar Heider es aquel que contiene una tapa para conservar la temperatura interior, esto funciona como aislante térmico.

Después de añadirle el acrílico a la tapa, también fue forrada de aluminio. Después se elaboró una plancha tipo comal para allí colocar los alimentos que serán cocinados para evitar el derrame de líquidos y para que sea más sencilla la limpieza de la cabina.



Caracterización ambiental

Para la realización de la caracterización se contó con las mediciones en:



- Temperatura y humedad ambiental
- Velocidad del viento
- Radiación solar
- Termofotografía y temperatura interior de la cámara
- Temperatura de cocción

Al ser un horno solar y no un deshidratador no fue necesario el uso de aparatos que miden la humedad interna, ya que solo nos interesa la temperatura ambiental, la de la cabina y la del filete de pescado en el caso que nos ocupa.

Caracterización de objetivo

El proceso de caracterización fue el siguiente:

1. Envolvimos el filete de pescado en aluminio y lo pesamos para saber su peso inicial y cómo cambiaría al final de la caracterización (si es que cambia).
2. Acomodamos el horno solar Heider en dirección al sol con un ángulo de 25°
3. Introducimos el filete dentro del horno solar Heider e introducimos un multímetro con sensor de temperatura a la cabina del horno (esto era opcional).
4. Cada 10 minutos se hicieron mediciones de parámetros.
5. Después de que el filete llegó a su temperatura ideal de cocción (65°C) se hizo solo la medición siguiente (en los siguientes 10 minutos) y se retiró el horno del sol.
6. Observamos los resultados.

Proceso de datos

En este apartado se presenta la tabla de datos que se obtuvo durante la caracterización.

Tabla de resultados del horno solar Heider

Mediciones	1	2	3	4	5	6
G (radiación) w/m2	749.7	1325.2	1196	1454.7	1283	1276
Velocidad de viento	2.5 m/s	1.19 m/s	0 m/s	2.60 m/s	1.70 m/s	2.45 m/s
T° ambiental	33.4 °C	32 °C	31.7°C	32.3 °C	31.4 °C	31 °C
T° alimento	37.1 °C	40.2 °C	48.3 °C	50.3 °C	56.8 °C	60 °C
% ambiental	45.5 RH	45.3 RH	46.3 RH	46.6 RH	45.8 RH	44.1 RH
Peso inicial	75 gr					
Peso final	75 gr					
Folio de fotos						
T° cámara interior	32.4 °C	40 °C	44.5 °C	49.2 °C	52.5 °C	55 °C



Mediciones
G (radiación) w/m2
Velocidad de viento
T° ambiental
T° alimento
% ambiental
Peso inicial
Peso final
Folio de fotos
T° cámara interior

6	7	8	9	10	11
1276	1369	1300	1210	1298	1310
2.45 m/s	1.5 m/s	1.67 m/s	1.60 m/s	1.20 m/s	0 m/s
31 °C	31 °C	31.3 °C	30 °C	31 °C	30.4 °C
60 °C	62 °C	64.5 °C	65 °C	66 °C	70.6 °C
44.1 RH	45.3 RH	47 RH	48 RH	48 RH	49 RH
55 °C	56 °C	56.5 °C	58.5°C	60 °C	60.6 °C

Comenzamos las mediciones a las 12:35 pm y terminamos a las 2:40pm, las temperaturas varían ya que durante la caracterización tuvimos varias complicaciones con las nubes y esto reducía la efectividad en la cocción del alimento. puedo añadir que era posible llegar al objetivo más rápido si no hubiera nubes de por medio.

Análisis de resultados

Añado las imágenes del resultado de la cocción del pescado.



Como se puede observar el pescado se coció, no de manera uniforme. Esto debido a que la superficie de cocción no distribuía el calor de manera homogénea.

Bibliografías

Frederick, L. (2007). *Solar Cooking for Home & Camp: How to Make and Use a Solar Cooker*. Stackpole Books. 3390493, ISBN 9780811741583. [Library Genesis: Linda Frederick Yaffe - Solar Cooking for Home & Camp: How to Make and Use a Solar Cooker \(libgen.is\)](#)

Elliott, L. (2011). *Sun Solar Cooking: Fail-Proof, Guaranteed Solar Cooking Strategies*. BookBaby. 3474762, ISBN 9781483570648. [Library Genesis: Lee Elliott - Sun Solar Cooking: Fail-Proof, Guaranteed Solar Cooking Strategies \(libgen.is\)](#)

Xabier Apaolaza-Pagoaga, Antonio Carrillo-Andrés, Celestino Rodrigues Ruivo, Experimental characterization of the thermal performance of the Haines 2 solar cooker, *Energy*, Volume 257, 2022, 124730, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124730>.

Celestino Rodrigues Ruivo, Gianluca Coccia, Giovanni Di Nicola, Antonio Carrillo-Andrés, Xabier Apaolaza-Pagoaga, Standardised power of solar cookers with a linear performance curve following the Hottel-Whillier-Bliss formulation, *Renewable Energy*, Volume 200, 2022, Pages 1202-1210, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.041>.





37 Secado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott) utilizando un secador solar tipo gabinete y un deshidratador eléctrico para formulación de harina compuesta.

Vázquez-Briones, M del C.^{a*}, Mata-García, M.^b, Hernández-Ramírez D^a, Domínguez-Mendoza F.N^a. Sosa-Arrazola, I.J^a. Jiménez-Valdez, N. A^a. López-López, D^a.

^aIngeniería Química, Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz, México. vazbri20@hotmail.com

^bBioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Coahuila, Coahuila, Veracruz, México. moisesmg2022@outlook.es

Autor de correspondencia: vazbri20@hotmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar y comparar el secado en rebanadas de malanga usando los métodos de secado al sol utilizando un secador de gabinete y un deshidratador eléctrico para formular harina compuesta y ser utilizada en la formulación de galletas. La harina de malanga obtenida por secado en el deshidratador durante dos horas a 55°C presentó un valor de porcentaje de humedad de 13.72. La harina de malanga que fue obtenida al utilizar el secador solar de gabinete mostró un valor de humedad de 16.39%. Los valores de color L*, a* y b* fueron aproximados en harina obtenida a partir del secador solar y secador eléctrico, exhibiendo valores de luminosidad en un rango de 86.67 a 97.15. Las galletas formuladas de harina que fue secada en un secador solar exhibieron valores más elevados de dureza en comparación con galletas formuladas con harina en la cual se utilizó un deshidratador eléctrico. Las galletas elaboradas con harina de malanga deshidratada en el secador solar tipo gabinete mostraron en los atributos sensoriales evaluados, buena aceptación por parte de los consumidores.

Palabras clave: secado; malanga; harina; solar.

Introducción

La malanga (*Colocasia esculenta* Schott) es un cultivo no tradicional que se puede cultivar debido a sus características tropicales, lo que convierte a México en un importante proveedor de otros países. Es una planta perenne tropical utilizada principalmente como verdura. Se trata de una raíz comestible con un ciclo de crecimiento corto y puede sobrevivir bajo tierra hasta 16 meses. Gracias al contenido de micro y macroelementos como almidón (70-80%), proteínas (11-16%), fibra bruta (5-9%), potasio (2271-4276,06 mg/100 g), minerales y vitaminas (magnesio, hierro, calcio, zinc, fósforo, potasio, sodio, cobre y manganeso, vitamina C, vitamina E y vitamina B₆), haciendo de la malanga una fuente alimenticia nutritiva y de fácil digestión. Es el segundo tubérculo más común en los trópicos y subtrópicos. Sus



tubérculos, hojas, piel y vísceras se utilizan como alimento humano y para mascotas. Actualmente en México se elaboran productos con malanga: atoles, platos fritos, buñuelos, se añaden a los caldos de carne y pollo, pero no se aprovecha en su totalidad ni sus subproductos de esta [1]. La alta humedad (>70%) de la malanga hace que se deteriore rápidamente después de la cosecha, lo que provoca su pérdida posterior. Por lo tanto, la producción de harina a partir de este tubérculo se convierte en una alternativa atractiva para prolongar la estabilidad. La reducción de la humedad evitará el riesgo de crecimiento microbiano, minimizando las reacciones de deterioro inducidas por la humedad, [2]. Las nuevas tecnologías para el secado solar tienen el potencial de ayudar a los pequeños productores de malanga a reducir significativamente las pérdidas postcosecha, mejorar la calidad de los subproductos (harina) y crear oportunidades de ingresos y empleos. El secado solar es una de las tecnologías más eficientes, rentables, renovables y sostenibles para conservar productos agrícolas [3]. El secado al sol al aire libre es el método preferido en los países tropicales debido a su disponibilidad, especialmente para los pequeños agricultores de zonas rurales. Sin embargo, el proceso de secado depende en gran medida de las condiciones ambientales y es muy susceptible a la contaminación por polvo, lluvia, viento, plagas y roedores, lo que resulta en una mala calidad del producto y pérdida de ingresos de los agricultores. Se han ideado varios sistemas, como el secador de gabinete, para superar estos problemas. Estos sistemas son más rápidos, más eficientes e higiénicos, lo que resulta en menos pérdidas de cultivos que el secado al sol tradicional al aire libre. Los secadores solares se utilizan cada vez más, ya que son una mejor opción y más eficiente desde el punto de vista energético. Los secadores solares podrían ser una alternativa a los métodos de secado, especialmente en lugares con buen sol durante la temporada de cosecha [4]. Al utilizar un secador solar de gabinete, se puede reducir el tiempo de secado en comparación con la exposición al sol porque el interior del secador está más caliente que el exterior; se mejora la calidad de los productos secos en términos de higiene, humedad, color, sabor e inocuidad; El producto además queda completamente protegido de la lluvia, el polvo y los insectos. Algunas ventajas de los secadores solares, es que el producto no incluye ningún tipo de conservantes químicos, lo que permite su uso para personas que sufren diversas reacciones alérgicas esos compuestos. Además, el producto no está expuesto a ningún tipo de radiación electromagnética dañina o polos. La harina de malanga se puede utilizar para preparar productos de panificación, preparación de bebidas, formulación de sopas instantáneas [5]. En este trabajo se va a estudiar y comparar el secado en rebanadas de malanga usando los métodos de secado al sol utilizando un secador de gabinete y un deshidratador eléctrico para formular harina compuesta para ser utilizadas en la formulación de galletas.



Materiales y métodos

Para elaborar la harina se recolectó la malanga en un mercado local de Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz, posteriormente se trasladó al laboratorio de química general de la Universidad, para lavar y desinfectar el tubérculo, se realizó un proceso de pelado y reducción de tamaño. Cada rebanada presentaba un espesor aproximado de 0.5 cm. Se colocó en el deshidratador eléctrico las rebanadas de malanga durante un tiempo de 2 horas a 55°C. Mientras que en el deshidratador solar se mantuvieron durante 60 horas con una temperatura aproximada de 48°C. Una vez deshidratado se pulverizó la malanga en un molino, se tamizó utilizando un tamiz de 0.300 mm para obtener fracciones homogéneas con distribuciones de tamaño de partícula similares. Por último, se almacenó en bolsas ziploc. Para la formulación de las galletas se utilizó dos concentraciones de harina compuesta de 10% de harina de malanga y 90% de harina de trigo, 30% de harina de malanga y 70% de harina de trigo. Los ingredientes que se utilizaron fueron: margarina, huevo, azúcar y leche. Se evaluó la pérdida de humedad de las rebanadas de malanga utilizando una balanza analítica durante las primeras 8 horas.

El porcentaje de humedad fue determinado en una termobalanza.

El color se midió en un Colorímetro CIELab (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing inc. Japan), los valores de color fueron L* (luminosidad) con valores de 100 (blanco) a 0 (negro), los parámetros a* y b* indican la cromaticidad y se miden en valores positivos y negativos. La escala de a* va del rojo (+) al verde (-) y la escala de b* va de amarillo (+) al azul (-). En la evaluación sensorial: se utilizó una prueba de escala hedónica de 9 puntos evaluando los siguientes niveles de agrado: disgusta en extremo (1), disgusta mucho (2), disgusta moderadamente (3), disgusta ligeramente (4), ni gusta ni disgusta (5), gusta ligeramente (6), gusta moderadamente (7), gusta mucho (8), gusta en extremo (9). Las muestras se dieron a degustar a 10 jueces no entrenados consumidores del producto, con edades en un rango de 18 a 25 años.

Resultados y discusiones



Figura 1. Malanga deshidratada utilizando el secador solar tipo gabinete.



Figura 2. Malanga deshidratada utilizando el deshidratador eléctrico.



Figura 3. Harina obtenida de malanga usando deshidratador eléctrico y secador de gabinete solar.



Pérdida de peso y humedad

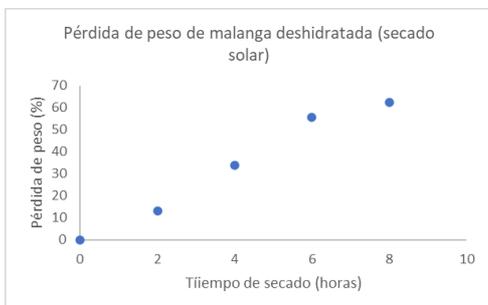


Figura 4. Valores obtenidos de pérdida de peso (%) en rebanadas de malanga utilizando el secador solar tipo gabinete.

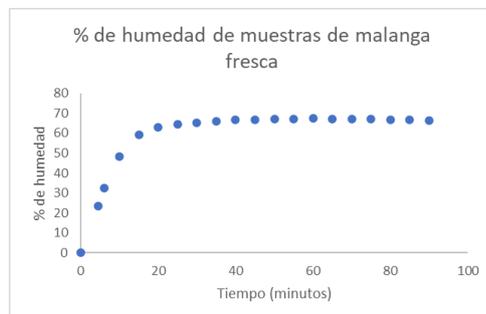


Figura 5. Valores obtenidos de porcentaje de humedad en rebanadas de malanga fresca. Mostrando valores de 66%.

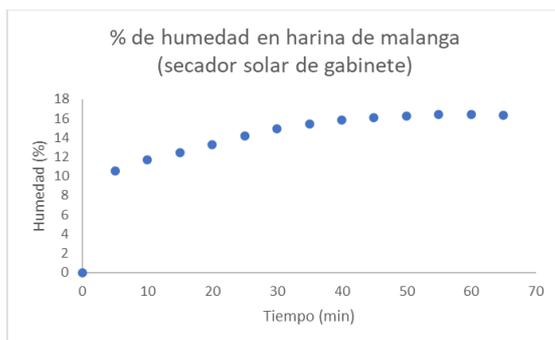


Figura 6. Valores de porcentaje de humedad de la harina obtenida con un secador solar de gabinete.

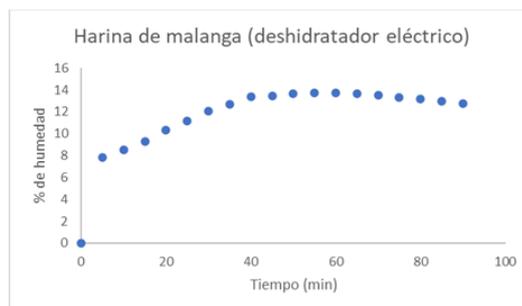


Figura 7. Valores de porcentaje de humedad de la harina obtenida con un deshidratador eléctrico.

Se evaluó la pérdida de peso de las rebanadas de malanga en el secador solar de gabinete durante 8 horas mostrando valores de pérdida de humedad de 62.48%.

La harina de malanga obtenida por secado en el deshidratador durante dos horas a 55°C presentó un valor de % de humedad de 13.72. La harina de malanga que fue obtenida al utilizar el secador solar de gabinete durante 60 horas se realizó a temperaturas promedio de 48°C, debido a que fueron días nublados en Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz, mostró un valor de % humedad de 16.39%, por lo tanto, es necesario dejar un mayor tiempo deshidratar las rebanadas para que alcance una humedad $\leq 15\%$ o secar en días que se alcance mayores temperaturas.

Color

Los parámetros de color para luminosidad (L^*) se encontraron en un rango de 86.67 ± 1.45 a 97.17 ± 1.45 . Mostrando mayores valores de L^* la harina obtenida con el



deshidratador eléctrico. El color en la harina dependerá de la cantidad de carbohidratos y proteínas, así como a la presencia de pigmentos y del origen botánico de la planta (Jamin y Flores, 1998). En este caso se obtuvo una harina de color blanca que no modificó el producto de panificación elaborado (galletas).

Tabla 2. Valores obtenidos de color en la harina de malanga

Parámetro	L*	a*	b*
Secado solar	86.67±1.23	1.83± 0.5	9.65± 0.9
Deshidratador eléctrico	97.17±1.45	1.23± 0.3	9.95± 1.02

Textura

Tabla 1. Valores obtenidos de dureza y fracturabilidad en galletas formuladas con harina compuesta de malanga-trigo al 10 y 30%. Secado solar (SS) y secador eléctrico (SE).

Parámetro	G-10%-SS	G-30%-SS	G-10%-SE	G-30%-SE
Dureza (g)	9624±12.72	5713±22.62	2217±8.48	1345±12.72
Fracturabilidad (g)	9409.50±7.77	5713±22.62	2139.5±16.2	1354±26.87

La dureza se define como la fuerza máxima necesaria para comprimir un alimento entre los molares, definiéndola matemáticamente es el valor máximo de la carga del ciclo de compresión. Por otra parte, la fracturabilidad indica la fragilidad del alimento, con relación a una definición matemática es el valor de la carga en la primera fractura. Las galletas que se formularon de harina que fue secada en un secador solar mostró valores más elevados de dureza en comparación con las galletas formuladas con harina en la cual se utilizó un deshidratador eléctrico. Al incrementar la concentración de harina de malanga en las galletas se exhibió menores valores de dureza y fracturabilidad.

Evaluación sensorial

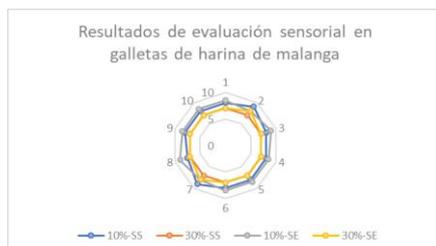


Figura. Resultados de la evaluación organoléptica.



Como se observa en la figura las galletas formuladas con 10% de harina de malanga, secada por secado solar y utilizando el deshidratador eléctrico mostró mayor aceptación con niveles de agrado de gusta mucho y gusta en extremo. Sin embargo, las galletas elaboradas con harina de malanga deshidratada utilizando el secador solar tipo gabinete mostró niveles de aceptación de gusta moderadamente y gusta mucho.

Conclusión

El secado solar, a través de secadores de gabinete, puede ser una alternativa a los pequeños agricultores o productores de malanga del sureste de Veracruz para producción de harina de malanga, obteniendo un producto con mejor calidad (higiene, humedad, color, sabor e inocuidad). Aunque, el tiempo de secado es más prolongado en el secador solar de gabinete con relación al deshidratador eléctrico, los productos obtenidos (galletas) presentan una buena aceptación por parte de los consumidores, ya que no existe una modificación en el color, sin embargo, en la dureza y fracturabilidad si se mostró una diferencia en los valores.

Agradecimiento

Agradecemos a los programas de Ingeniería Química y Energías Renovables de la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz por brindar el acceso a los equipos de laboratorio y a los alumnos por su entusiasta participación en el proyecto. Así como a PRODEP por el apoyo obtenido en la convocatoria de fortalecimiento de CA.

Bibliografía

- [1]. Nazario-Lezama, Nancy; Arvizu-Barrón, Ezequiel; Mayett-Moreno, Yesica; Álvarez-Ávila, María del Carmen; García-Pérez, Eliseo. Producción y comercialización de malanga (*Colocasia esculenta* (L.) Shott) en Actopan, Veracruz, México: Perspectiva de cadena de valor. AGROPRODUCTIVIDA. Vol. 13, Núm. 5, mayo. 2020. pp: 59-64. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1660>
- [2]. Pérez, E.; ME. Gutiérrez; E. Pacheco de Delahaye; J. Tovar; M. Lares. 2007. Chemical and nutritional characterization of *Xanthosoma sagittifolium*, and *Colocassia esculenta* flours. *J. Food Sci.* 72:S367–S372
- [3]. Kamil Sacilik. (2005). Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*. Volume 79, Issue 1, March 2007, Pages 23-30.
- [4]. Seremet, L., Botez, E., Nistor, O.V., Andronoiu, D.G. Mocanu, D.G. 2016. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydratation of pumpking slices. *Food Chem.* 195, 104-109.
- [5]. Jamin FF, Flores RA. Effect of additional separation and grinding on the chemical and physical properties of selected corn dry-miller streams. *Cereal Chem.* 1998; 75,166-170.





38 Extracción de aceite esencial de orégano *Lippia berlandieri* mediante un sistema híbrido con cocción solar-eléctrica

Saúl Alonso Herrera Aguayo^a, Luis Daniel Miramontes Castañeda^a, Edgar Oswaldo Zamora González^{ab} y Martha Fabiola Martín del Campo Solís^{ab*}

^aMaestría en Estudios Transdisciplinarios en Ciencia y Tecnología, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara, Colotlán, Jalisco, C.P. 46200, México.

^bLaboratorio de Investigación en Biotecnología, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara, Colotlán, Jalisco, C.P. 46200, México
mfmartindelcampo@cunorte.udg.mx

Resumen

El orégano silvestre, *Lippia berlandieri*, es una planta arbustiva con flor que se distribuye en zonas semiáridas como la Zona Norte de Jalisco donde ocupa hasta 45,000 hectáreas y tiene rendimientos cercanos a 3 ton/ha. Esta planta tiene una gran importancia ecológica, económica y social en la región. Uno de los principales productos obtenidos del orégano es el aceite esencial, el cual se utiliza en alimentos, bebidas y como antimicrobiano. A nivel mundial, este aceite tiene un valor de mercado de 15.4 mil millones de USD, sin embargo, en la Región de estudio aún no ha sido explotado a pesar de su abundancia. El aceite de orégano de la planta *Lippia berlandieri* se caracteriza por su alto contenido de aceite esencial en comparación con otras especies. En este estudio, se llevó a cabo la destilación por arrastre de vapor a 95 °C para obtener aceite esencial de orégano de la Región Norte de Jalisco utilizando un sistema híbrido de cocina solar-eléctrico. Se obtuvo un rendimiento del 2.5%, similar tanto en el equipo operado con 100 % energía eléctrica como sin auxilio eléctrico. Se analizaron los perfiles del aceite obtenido mediante cromatografía de capa fina, encontrando diferencias dependiendo del método de destilación utilizado. También se evaluó la actividad antioxidante del aceite obtenido, encontrando hasta 128.19



mg equivalentes de ácido gálico por mililitro para la extinción del radical ABTS y de 17.02 mg equivalentes de ácido gálico por mililitro para DPPH. En resumen, este estudio demuestra la viabilidad de utilizar el principio de cocina solar para obtener aceite de orégano de alta calidad.

Palabras clave: orégano, aceite esencial, cocción solar, energía termo solar.

1. Introducción

La planta *Lippia berlandieri* es un tipo de arbusto no maderable con flor de hoja caducifolia, cuya distribución es amplia en las zonas semiáridas como lo es la Región Norte del Estado de Jalisco. El área de distribución de la *Lippia berlandieri* es de aproximadamente 45,000 hectáreas, con una explotación por parte de los campesinos, recolectores y acopiadores de la región cercana al 44.4% de las mismas. La mayor parte del orégano que se recolecta en la zona se destina para su exportación hacia el mercado estadounidense, puesto que en México las aplicaciones que se le dan a esta planta se limitan únicamente a su uso como condimento dentro de la gastronomía y como planta medicinal debido a sus propiedades bioactivas, sin embargo, en Estados Unidos su aprovechamiento es mayor, ya que ahí el orégano es industrializado para la obtención del aceite esencial, cuyas aplicaciones van desde la elaboración de licores y cosméticos hasta su posible uso en la industria farmacéutica [1], [2]. Los componentes fundamentales del aceite de orégano son compuestos fenólicos como Timol y Carvacrol, los cuales se emplean ampliamente en la industria debido a sus propiedades antifúngicas, antimicrobianas, antioxidantes, saborizantes y fijadoras [3]. Con un valor de mercado global en 2022 de USD 15.4 mil millones de dólares, se prevé que el aceite esencial de orégano tenga una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4.80% para el periodo de 2023-2028 [4].

2. Materiales y métodos

2.1 Destilación de aceites esenciales por arrastre de vapor

Se realizó la destilación de aceite esencial de orégano *Lippia berlandieri* secado en un secador solar mixto, la destilación se llevó a cabo mediante un sistema de cocción híbrido solar-eléctrico, el cual está integrado por un equipo de destilación de aceites esenciales por arrastre de vapor de vidrio de borosilicato comercial marca Vevor, el cual consta de los siguientes elementos:

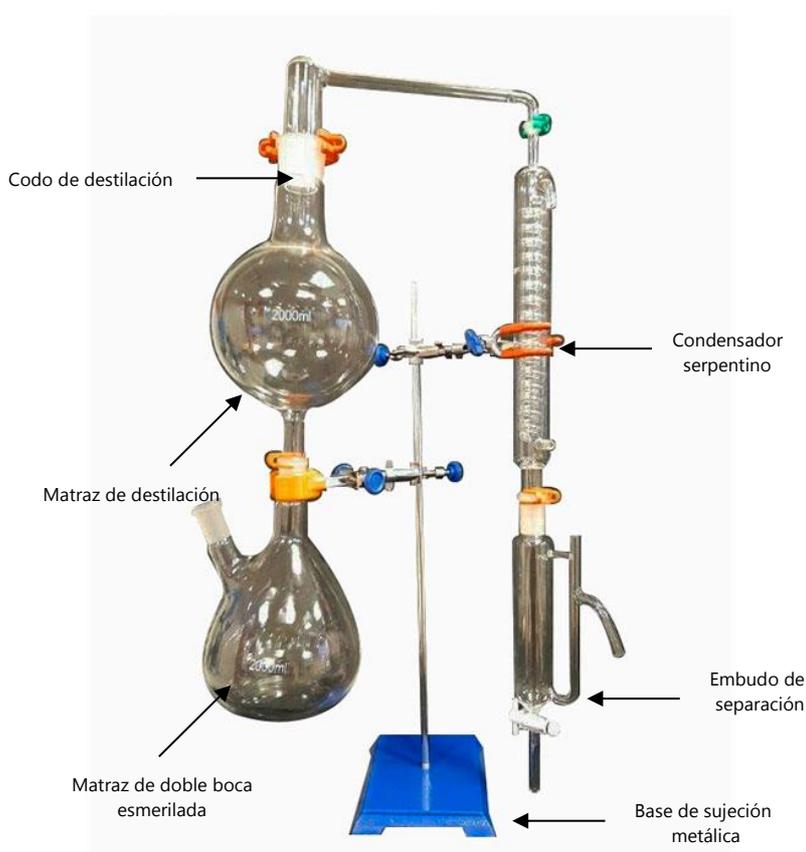


Imagen 1. Equipo de vidrio para destilación de aceites esenciales (Instrumental Pasteur).

2.2 Baño termostático

Así mismo, se utilizó un *baño termostático Delixi Electric* para hacer circular a través de mangueras de látex agua fresca a una temperatura de 5°C dentro del *condensador serpentino* del sistema de destilación para facilitar la condensación del vapor de agua y aceite a un estado de agregación líquido.

2.3 Estufa solar parabólica 1.20 metros de diámetro

Se utilizó una *estufa solar parabólica con recubrimiento de vinil reflejante con mecanismo de giro* de 1.20 metros de diámetro, construida con tubular 1.5 in, calibre 18 para concentrar la radiación solar y reflejarla sobre el *matraz de doble boca esmerilada*, proporcionando la energía necesaria para elevar la temperatura de 1.5 litros de agua destilada albergada en este reservorio hasta llevarla al punto de ebullición a 95°C a un nivel de elevación de 1,690 m.s.n.m.



2.4 Controlador y registrador de temperatura y energía

Durante el proceso de destilación con auxilio eléctrico se utilizó un controlador y registrador de temperatura y energía denominado *Datalogger* para registrar y controlar la temperatura del agua alcanzada durante el proceso de destilación, así como también para controlar la potencia de las resistencias eléctricas que se activaban cuando el nivel de radiación solar no era suficiente para mantener la temperatura óptima de 95°C que hiciera ebullición del agua albergada en el *matraz de doble boca esmerilada*.

2.5 Cromatografía en capa fina (TLC)

Posterior al proceso de destilación del aceite esencial de orégano, se realizó una prueba de cromatografía en capa fina (TLC) para visualizar la separación de los componentes de la mezcla del aceite esencial: en la fase estacionaria se aplicó a dos muestras distintas de aceite esencial, la primera obtenida mediante destilación cien por ciento eléctrica y la segunda obtenida mediante destilación termo solar sin auxilio eléctrico, se utilizó como control una muestra de limoneno como sustituto de carvacrol, componente principal del aceite esencial de orégano; en la fase móvil se realizó la separación de componentes utilizando un eluyente de cloroformo, ácido acético glacial y tolueno. Finalmente se sometió a la placa con las muestras a luz UV de alta intensidad dentro de un transiluminador para lograr visualizar la separación de componentes del aceite esencial.

2.6 Determinación de actividad antioxidante

Se realizó una prueba triplicada para determinar la actividad antioxidante del aceite esencial de orégano. Se utilizaron muestras de 100 µl obtenidas mediante destilación termosolar con ayuda eléctrica. Estas muestras se diluyeron 1:8000 en agua para eliminar 100 µl del radical ABTS a 734 nm, también diluido 1:10 en agua destilada, y para erradicar 150 µl del radical DPPH a 517 nm, diluido 1:2000 en metanol. Se emplearon 50 µl de muestra de aceite esencial de orégano en este proceso.

Se realizó el mismo procedimiento para un ensayo en blanco (en donde no se agregó el aceite esencial de orégano).

2.7 Determinación del grado de oxidación lipídica

Para determinar el grado de oxidación lipídica se utilizó una titulación con tiosulfato sódico $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. La cual permite conocer la tendencia de un determinado aceite al enranciamiento y a la desnaturalización lipídica.

Para este proceso, se pesaron 1.206 gramos de aceite esencial de orégano en una probeta de vidrio, después se añadieron 24.12 ml de cloroformo y se procedió a agitar



vigorosamente la mezcla, posteriormente, se agregaron 36.18 ml de ácido acético glacial y se procedió a agitar nuevamente la mezcla, se añadieron 2.412 ml de la disolución de yoduro potásico, se agitó durante un minuto y se reservó en un medio oscuro durante cinco minutos. Se añadieron 180 ml de agua destilada para su valoración con tiosulfato de sodio, y, por último, se añadieron unas gotas de almidón para poder observar el cambio de color a amarillento rojizo dentro de la probeta.

Se realizó el mismo procedimiento para un ensayo en blanco (en donde no se agregó el aceite esencial de orégano).

Resultados

Se registraron los valores de temperatura del agua cada 5 minutos durante la destilación del aceite esencial de orégano. Esto se llevó a cabo en dos métodos diferentes: uno totalmente termosolar y otro que combinaba un sistema solar híbrido con electricidad.

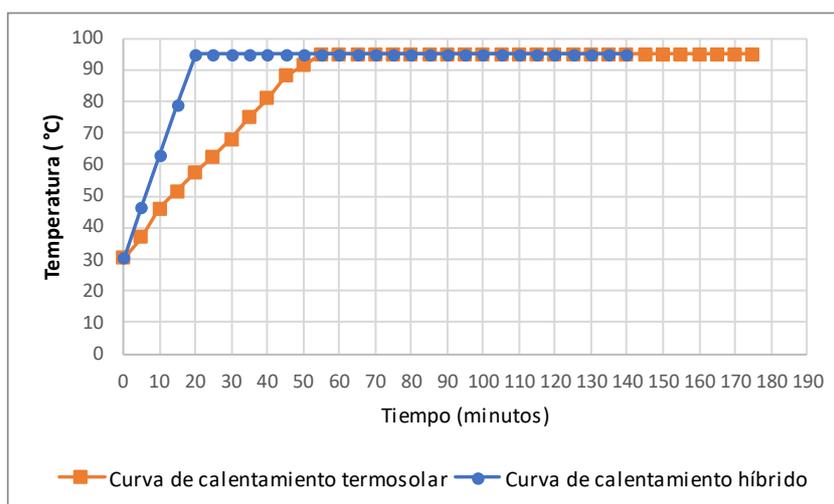


Figura 1. Curvas de calentamiento termosolar e híbrido para 1.5 L de H_2O con estabilización térmica para ebullición a 95°C a 1,690 m.s.n.m. durante 2 horas después de alcanzar el punto de ebullición.

Se llevaron a cabo dos pruebas para evaluar la calidad del aceite esencial de orégano. En la primera, se midió la actividad antioxidante mediante los radicales estándar DPPH a 517 nm y ABTS a 734 nm. En la segunda prueba, se determinó el índice de peróxidos para evaluar su propensión a la desnaturalización lipídica. Además, se calculó el rendimiento del aceite respecto al peso de la materia vegetal seca.



Aceite esencial de orégano	Rendimiento % masa	DPPH 517 nm	ABTS 734 nm	Índice de peróxidos
	3.015%	17.02 mg equivalentes de ácido gálico por ml	128.19 mg equivalentes de ácido gálico por ml	0.13 mEq/1000 g muestra

Tabla 1. Prueba de rendimiento % masa con valor de 3.015% con respecto a la materia prima vegetal inicial; actividad antioxidante de 17.02 mg Eq de $C_7H_6O_5$ para la extinción del radical DPPH 517 nm y de 128.19 mg Eq de $C_7H_6O_5$ para la extinción de ABTS 734 nm; y un índice de peróxidos de 0.13 miliequivalentes/1000 g muestra para titulación con $Na_2S_2O_3$.



Figura 2. Se realizó una cromatografía de capa fina (TLC) de dos muestras de aceite esencial de orégano, la primera obtenida mediante destilación eléctrica (1) y la segunda obtenida mediante cocina solar (2), pudiendo observarse un mayor arrastre y separación de los componentes del aceite esencial con el método número 2. Se usó un blanco de *Limoneno* como sustituto de *Carvacrol* en estado puro. *

1. Eléctrico
2. Cocina solar

Conclusiones

La destilación de aceite esencial de orégano en la Zona Norte del Estado de Jalisco es completamente viable a través de un sistema de destilación por arrastre de vapor mediante cocción 100% termo solar con estufa parabólica. Sin embargo, se vuelve aún más factible al emplear un sistema de destilación híbrido solar-eléctrico. Es relevante destacar que la variedad de *Lippia berlandieri* presente en esta región demuestra un rendimiento excepcional del 3.015% a partir de la materia prima vegetal inicial, superando significativamente los rendimientos informados en otras variedades de la misma especie. Además, se ha observado una alta actividad antioxidante en términos de la eliminación de radicales. La prueba del índice de peróxidos señala una baja propensión del aceite al enranciamiento y al cambio de sabor, con un valor de 0.13, que está por debajo de los índices de los aceites comerciales más comunes. Finalmente, los resultados de la TLC indican que la destilación mediante cocción solar es más eficiente en la separación de los componentes químicos del aceite esencial en comparación con la destilación por resistencia eléctrica.

Discusión

El orégano silvestre de la Zona Norte de Jalisco ha destacado al revelar un rendimiento



del 3.015% en la extracción de aceite esencial mediante el método de arrastre de vapor. Esta cifra supera notablemente lo registrado para otras variedades de orégano sometidas al mismo proceso de destilación. Un estudio realizado por Flores Hernández y colaboradores muestra que la variedad silvestre de *Lippia graveolens Kunth*, hallada en la región de la Comarca Lagunera, presenta un rendimiento del 2.01%. Por otra parte, Reyes y Ortega reportaron un rendimiento de 2.55% para las poblaciones de orégano silvestre en el año 2002 [5].

Es crucial resaltar que las variedades mexicanas exhiben una eficiencia superior a las especies extranjeras, como se evidencia en el caso de las variedades griega y turca, ambas con un rendimiento de apenas 1.5% por materia vegetal seca. Además, se ha observado que la variedad del norte de Jalisco presenta un rendimiento comparable al de las variedades de orégano silvestre del estado de Guanajuato, posiblemente debido a las similitudes en las características del entorno físico donde se desarrollan ambas variedades [6].

Referencias

- [1] A. A. Aguirre Jiménez, "Importancia de la producción de orégano en la Zona Norte de Jalisco", Carta Económica Regional, vol. 13, pp. 27–30, 1996.
- [2] J. G. Garnica Flores, "Ensayo de predicción del rendimiento de orégano (*Lippia berlandieri* Shower) en la Zona Norte de Jalisco", Rev Mex Cienc For, vol. 19, núm. 76, pp. 15–26, 1994.
- [3] I. Orona Castillo, A. J. Salvador Almazán, J. de J. Espinoza Arellano, y C. Vázquez, "RECOLECCION Y COMERCIALIZACION DEL OREGANO (*Lippia* spp) EN EL SEMI-DESIERTO MEXICANO, UN CASO DE ESTUDIO: RESERVA ECOLOGICA MUNICIPAL SIERRA Y CAÑON DE JIMULCO, MEXICO", Revista Mexicana de Agronegocios, vol. 41, pp. 684–695, 2017.
- [4] "Análisis del Mercado de Aceite de Orégano", Informes de Expertos.
- [5] E. O. F. MARJORAM, "PRODUCCIÓN Y EXTRACCION DE ACEITE DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* Kunth) BAJO CULTIVO EN LA COMARCA LAGUNERA", Antes Ciencia Forestal en México, p. 113, 2011.
- [6] L. Hernández, A. Juárez, J. Martínez, L. Pérez, y E. Mares, "Aceite esencial de Orégano como potencial nutracéutico", Investigación y desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, vol. 1, núm. 2, pp. 453–458, 2016.





39 Análisis del estado del arte para determinar la viabilidad tecnológica de utilizar la energía solar térmica en el secado de la producción agrícola en el estado de Campeche.

Jorge Carlos Gómez Pérez^a, Margarita Castillo Téllez^b, José Rubén Martínez Paredes^a

^a*Coordinación General de Sustentabilidad Yuum K'áax Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México*

^b*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México.*
Universidad Autónoma de Campeche, C.P. 24085, Campeche, Campeche, México,
981-811-98-00, www.uacam.mx

Autor de correspondencia: mcastill@uacam.mx,

Resumen

Durante las últimas décadas a nivel mundial, se ha comenzado a considerar la incorporación parcial y/o total de diferentes fuentes de transformación de energía solar térmica, con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, cada vez más agotados y encarecidos. Sin embargo, esta transición se ha hecho en algunos casos de manera lenta, ya que los avances tecnológicos no han permitido que dichas tecnologías compitan con las formas convencionales de operación. En este trabajo se pretende mostrar que en el Estado de Campeche es factible la incorporación de sistemas solares térmicos a un proceso de deshidratación, el cual es llevado a cabo con energía solar térmica. El proyecto de deshidratación surge en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, debido a la creciente necesidad de los productores de mantener en buen estado sus alimentos conservándolos por más tiempo. Para ello se realizó una investigación que involucró distintos análisis de las más recientes investigaciones que se han llevado a cabo en el área de las tecnologías de secado solar, con la finalidad de asegurar la factibilidad técnica del acoplamiento de las tecnologías de secadores existentes en la actualidad, para eficientar y promover el deshidratado de alimentos.



Palabras clave: Radiación solar, deshidratador solar, secado solar, hibridación de tecnologías solares.

Introducción

La energía solar tiene un enorme potencial como todos los diferentes prototipos han demostrado, y la predicción sobre este tipo de tecnología muestra que la eficiencia de estos sistemas puede aumentarse de manera significativa. Existen diferentes tecnologías de calentamiento solar activo y termo-solar.

En la actualidad son varios los sistemas que aprovechan la energía calórica que aporta el sol. En todos ellos el principio es siempre el mismo, elevar la temperatura de una sustancia para con dicho calor lograr un efecto determinado.

La energía solar puede aplicarse a una gran variedad de usos térmicos, incluyendo el agua caliente sanitaria, la calefacción de interiores o el secado. También se están desarrollando nuevas áreas de aplicación, de las cuales quizás la más interesante resulte la climatización solar. Algunas de las aplicaciones de la energía solar térmica son: secado solar, Refrigeración solar, Destilación solar, Cocinas solares, entre otros.

El principio básico común a todos los sistemas solares térmicos es simple: la radiación solar es captada y el calor se transfiere a un medio portador de calor, generalmente un fluido; agua o aire.

Metodología

Este estudio documental considera las tendencias bibliográficas sobre un tema específico, también llamado revisión de la literatura, estado del arte. De acuerdo con sus objetivos, en general y gráficamente (Figura 1), un estado del arte puede definirse como:

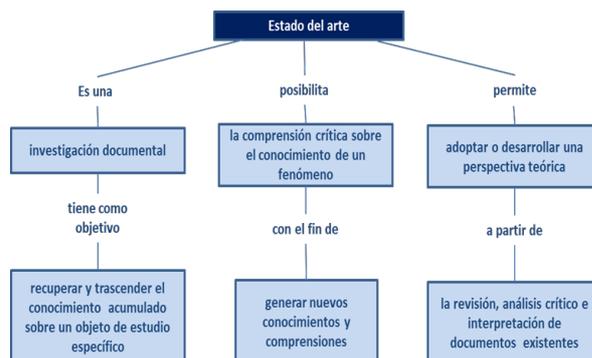


Figura 1 Concepto de estado del arte desde los objetivos principales. Fuente: (Facundo, O. L. L. P., & Villafañez, M. G. L. C. C.)

A manera de ejemplo, se presenta en la figura 2 la evolución del número de artículos publicados en los temas de: solar drying, solar dryers, solar dryers review en la plataforma de información Science Direct, que es una de las mayores bases de datos de divulgación científica. La figura nos muestra un crecimiento de manera exponencial en los últimos años en los tópicos antes descritos. Para el año 2019, la relación de los tres



temas mantuvo un aumento en relación con los años anteriores teniendo un crecimiento exponencial. La gráfica muestra que para el año 2020 el crecimiento de los artículos se vio afectado principalmente por la situación de pandemia que inició ese año, así mismo, las publicaciones científicas disminuyeron de forma importante para el primer trimestre del año 2021.

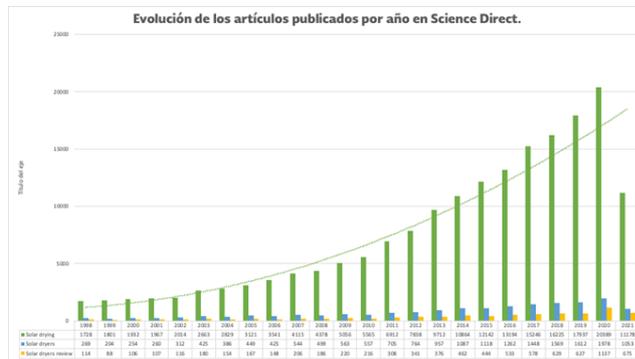


Figura 2 Evolución de artículos publicados por año en Science Direct. Fuente: Elaboración propia.

Durante esta investigación documental se plantea la población encontrada en el buscador Science Direct, Conricyt, BiblioTechnia, EBSCOhost entre otros, y la muestra, los instrumentos de recopilación de datos, así como el procedimiento y el plan de trabajo que se llevó a cabo en esta investigación, presentando el panorama global de las tecnologías de secado solar forma mediante la descripción y revisión de los últimos avances en el secado solar indirecto, secado solar mixto, sistemas de secado solar con almacenamiento de calor, secado solar de tipo invernadero, secadores solares pasivos y secadores solares híbridos, relacionados con la climatología, extensión territorial, población, fauna, factores del suelo, agua, panorama y necesidades del estado del sector agrícola del Estado de Campeche, presentando un panorama desde lo internacional hasta lo local.

Resultados

De la revisión de las tecnologías de secado solar estudiadas relacionadas con los productos que se producen en Campeche el 51.56 % de los artículos hacen referencia a estos productos, el mango con el 15.15 % del 51.56 %, tomate el 30.3 % del 51.56 %, maíz 27.27 % del 51.56 %, chile 18.18 % del 51.56 % y palma 9.09 % del 51.56 %; y el 48.44 % tuvieron que ver con otros productos distintos a las regiones del Estado de Campeche (Ver Figura 3).

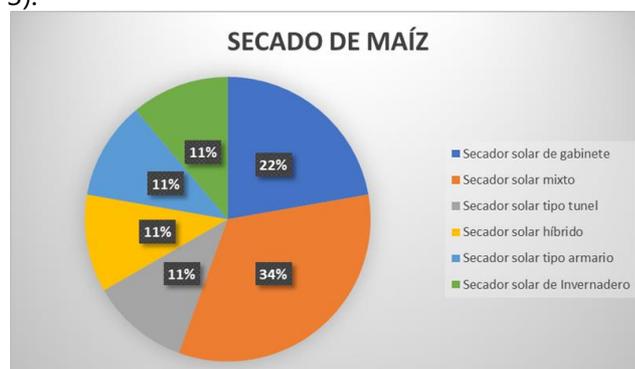


Figura 3 Tecnologías de Secado Solar empleado para el deshidratado de Maíz



En el caso del mango en los estudios se utilizaron tecnologías de secado solar de gabinete y secado solar híbrido, para el tomate se utilizaron las tecnologías secado solar de gabinete, secado solar híbrido, secado solar mixto, secado solar de túnel, secado solar de gabinete, y secado solar de tipo invernadero; en el caso del Maíz se estudiaron con el secado solar de gabinete, secado solar híbrido, secado solar mixto, secado solar de túnel, secado solar de gabinete, y secado solar de tipo invernadero, para el caso del chile se emplearon las tecnologías de secado solar de gabinete, secado solar híbrido, secado solar mixto, secado solar de túnel, para el caso de la Palma se estudiaron las tecnologías de secado solar híbrido, secado solar mixto, secado solar de túnel.

En la Figura 4 se puede observar que, para las palabras clave: "tipo de tecnología" y "clima cálido-húmedo", la palabra "secador solar híbrido" aparece con más frecuencia.

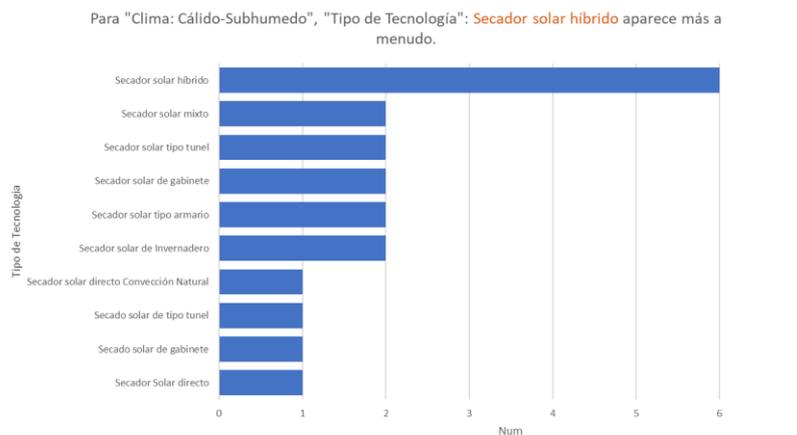


Figura 4 Frecuencia de aparición de palabras clave relacionadas con secado solar de alimentos en fuentes de búsquedas científicas relevantes

En los estudios previamente analizados el tipo de clima predominante fue el clima cálido-seco, mientras que el clima cálido-subhúmedo y cálido-húmedo le siguieron. Resulta interesante señalar que para la mayoría de los países que pueden incluirse dentro de los catalogados como en vías de desarrollo, la alternativa del empleo de las energías no renovables abre un camino muy interesante. Cuando se hace un balance de la energía solar potencialmente utilizable, la franja de países comprendida entre los 40° Latitud Norte a 40° Latitud Sur donde se encuentra una gran cantidad de ellos. Campeche se localiza entre esas latitudes, por lo que el uso de las tecnologías de secado solar puede ser aprovechado a gran escala (figura 5).

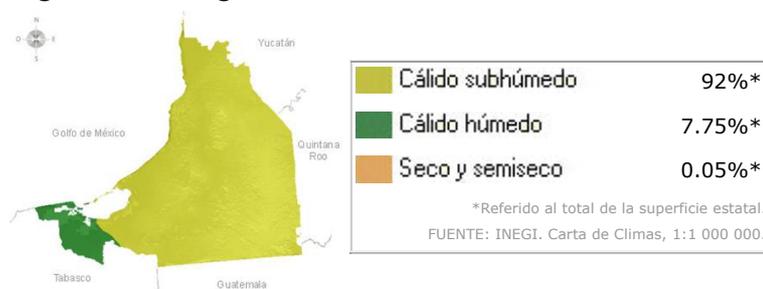


Figura 5. 1 Climatología de Campeche fuente: INEGI (2005)



Conclusión

Para el Estado de Campeche la tecnología de secado solar representa un gran potencial como método sustentable para conservar alimentos. La adopción de las tecnologías de secado solar enfrenta desafíos a resolver como son: la información, tipos de tecnología, financiamiento, un marco legal y políticas de energías renovables adecuadas a la región y condiciones económicas.

Con estas tecnologías se pueden preservar y asegurar la calidad de los alimentos agrícolas de Campeche, evitando el deshecho y a la vez generando empleo, disminuyendo los niveles de pobreza y hambre del Estado.

En la revisión del estado del arte se pudo encontrar que la utilización de diversas tecnologías de deshidratado en productos agrícolas similares a los de Campeche tales como: el mango, tomate, chile, maíz y palma.

En la agroindustria campechana es viable el uso de secadores solares indirectos tipo túnel y de tipo invernadero combinándolo con sistemas fotovoltaicos o térmicos de tubos evacuados o planos, los cuales son amigables con el medio ambiente.

Bibliografía

Aboul-Enein S, El-Sebaï AA, Ramadan MRI, El-Gohary HG. Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications. *Renew Energy* 2000;21(3-4):505-22.

Ahmad NT. 2001. Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film. *Renew Energy*, 23(3-4):663-671.

Akyurt, M., and M.K. Selcuk. 1973. A solar drier supplemented with auxiliary heating systems for continuous operation. *Solar energy*, 14:313-320.

Amer, B.M.A., M.A. Hossain, and K. Gottschalk. 2010. Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. *Energy Convers Manage*, 51(4): 813-820.

Ampratwum, D.B., and Dorvlo, A.S.S. 1998. Evaluation of a solar cabinet dryer as an air heating system. *Applied Energy*, 59(1): 63-71.



40 **Diseño, construcción y caracterización térmica de tres cocinas solares de bajo costo para su utilización en zonas rurales del estado de Campeche, México**

Christopher Torres Calderón^a, Edgard E. Canche Cahuich, Abner Peroza Rodríguez^a, Paloma B. García Aguilar^a, Ary Daniela Herrera Dzul^a, Celso I. Saravia García^a, Julio Gutiérrez González^b, Margarita Castillo Téllez^b

Alumnos^a y Docentes^b Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche, C.P. 24085, Campeche, Campeche, México, 981-811-98-00, www.uacam.mx

Autor de correspondencia: mcastill@uacam.mx

Resumen

El hombre ha utilizado la energía del sol hace miles de años. La Energía Solar Térmica es capaz de transformar los rayos solares en calor. Existen a la fecha diferentes tecnologías térmicas solares que se pueden aprovechar en los hogares mexicanos, dichas tecnologías pueden apoyarse de uno o varios captadores solares para incrementar su eficiencia; la función de los captadores solares es absorber la mayor cantidad de radiación posible. Las cocinas u ollas solares son dispositivos que permiten cocinar alimentos usando la radiación solar como fuente de energía. Son otra alternativa para la cocción rural y aunque no cubren por completo la necesidad de cocción de alimentos, su uso representa un ahorro energético importante. En este trabajo se presenta los resultados experimentales obtenidos con la construcción de tres prototipos de cocinas solares: tipo panel, tipo caja y de concentración. Las pruebas se realizaron en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada entre los paralelos 19°51'00" de latitud norte, y entre los meridianos 90°31'59" de longitud oeste, los parámetros climáticos máximos medidos durante las pruebas fueron: irradiación solar, 850 W/m²; humedad relativa, 67 % y temperatura ambiente, 35 °C. Los resultados experimentales



mostraron que la cocina solar tipo caja obtuvo mayores temperaturas alcanzando una temperatura promedio de 80 °C en la cámara de cocción.

Palabras clave: cocinas solares, captadores solares, espejos reflectantes, cámara de cocción.

1. Introducción

La eficiencia energética que se encuentra en la energía del Sol ha hecho que el ser humano investigue aplicaciones de la energía solar creando el horno solar que, a través de la radiación solar que incide por las aletas reflejantes, el horno hace que se concentre con mayor intensidad logrando así cocinando alimentos. Estos sistemas pueden reducir el uso de combustible en un 85%, según establecen distintos especialistas en el área de las energías renovables [1]. Una de las aplicaciones de la energía solar son las cocinas solares, las cuales funcionan a partir del aprovechamiento de la radiación solar directa para favorecer la cocción de alimentos.

Se trata entonces de un sistema solar pasivo que logra el calentamiento necesario en su interior para alcanzar un nivel de temperatura adecuado, en función de las condiciones climáticas y el tiempo.

La cocción solar es la forma más sencilla, segura y conveniente de cocinar alimentos sin consumir combustibles ni calentar la cocina. Para cientos de millones de personas en todo el mundo que cocinan sobre fuegos alimentados por leña o carbón y que caminan kilómetros para recolectar leña o gastan gran parte de sus escasos ingresos en combustible, la cocina solar es una alternativa limpia y económica [2]. En referencia a los diferentes tamaños de un horno solar, estos varían según el modelo, rendimiento y utilidad. Para obtener una mayor eficiencia en este tipo de hornos es recomendable emplear recipientes metálicos de color obscuro mate y paredes delgadas, ya que convierte con mayor eficiencia la luz solar en calor útil para cocinar [3]. Para la fabricación de este tipo de tecnologías se requieren diversos materiales que eviten una pérdida de calor, es decir, que propicien el resguardo de la energía térmica almacenada al interior, adicional a que no sean fácilmente alterables por los diversos factores climáticos e higrométricos, por ende, se necesita la realización de ajustes en relación con las necesidades de los investigadores o, en su caso, los usuarios finales [4].



Se presentan los resultados del análisis del funcionamiento de dos tipos de hornos solares construidos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad autónoma de Campeche.

3. Materiales y Métodos

Diseño de dos prototipos de horno solar



Figura 1. Horno solar A con una aleta reflectante



Figura 2. Horno solar B con 4 aletas aleta reflectante

El horno solar A tiene un reflector plano (figura 1) y está compuesto por una envolvente de madera con base cuadrada es de 44.5 x 44.5 cm, con dos alturas la menor (frontal) de 23 cm y la mayor (trasera) de 43 cm, la parte interna del horno es de aluminio con una capa de pintura reflejante con dimensiones de 34.6 x 34.6 cm la cual contiene otra capa de aluminio a todo alrededor con una separación de 3 cm en donde se encuentra la polyespuma, en la superficie inclinada contiene una cubierta que integra un marco de aluminio de 40 x 38 cm con 5 cm de ancho, esta contiene un vidrio de 3 mm de grosor con medidas de 30 x 28 cm. El reflector plano es una lámina de aluminio con dimensiones de 40 x 40 cm, de igual manera cuenta con un recubrimiento de pintura reflejante.

El horno solar B (figura 2), se compone por una caja de madera como estructura base, misma que cuenta con una capa interna de aluminio y una base reflejante pintada de color negro para lograr una mejor concentración y con una separación de 4.5 cm de polyespuma, utilizado para cumplir la función de un aislante, sus medidas son de 43.5 cm x 44.5 m por lado y una altura de 33.5 cm. Las 4 aletas reflectantes fueron elaboradas con aluminio y sus dimensiones son de 26.5 cm x 40 cm, con un grosor de 2.5 cm, resultando así una altura total del horno de 58.5 cm al inclinar las aletas y quedar montado el horno solar. El horno cuenta con una cubierta compuesta de un vidrio de 3.0 milímetros de grosor y de 30 cm x 31 cm, el cual se



encuentra enmarcado de aluminio con un ancho de 4.5cm y medidas totales de 39 cm x 40 cm.

El número de ateas determina la cantidad de radiación que puede ser dirigida hacia el alimento que se desea cocinar. Esta cantidad de calor requerida depende de la temperatura que se requiere lograr dentro del mismo.

4. Resultados

Se realizó la comparación de las lecturas del primer prototipo, se comparó la irradiancia solar con la temperatura ambiente y la humedad relativa. En las gráficas 1 y 2 se puede observar que existen ciertas perturbaciones en la irradiancia solar en comparativa a una campana de Gauss ideal, esto debido que el día se encontraba parcialmente nublado. A comparación de la irradiancia, que varió mucho durante el experimento, la temperatura ambiente no sufrió variaciones tan notorias, ya que se mantuvo entre los rangos de 25 °C a 31 °C. Para el caso de la humedad relativa se tiene que a lo largo del tiempo de experimentación inició con un valor de 78% conforme la irradiancia fue aumentando el porcentaje de humedad relativa disminuyó hasta 67% y al final pudo aumentar llegando aproximadamente hasta 77% (gráfica 1). En ambos prototipos, los datos experimentales se registraron tanto dentro del horno solar, como de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada en la Facultad de Ingeniería del Campus V. Se presenta en la gráfica 2 los parámetros climáticos medidos el día de prueba tomado como ejemplo.

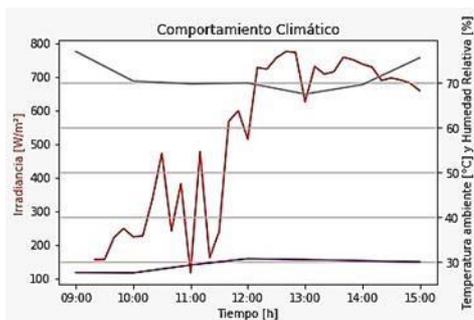


Gráfico 1. Comportamiento climático meteorológico

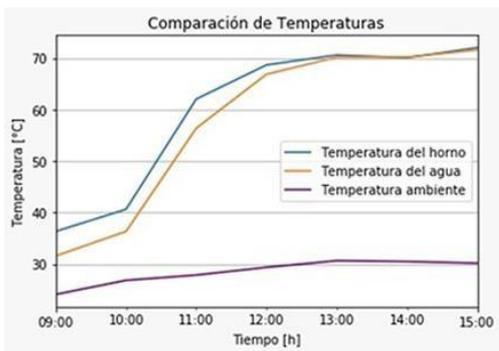


Gráfico 2 Datos climáticos de la estación

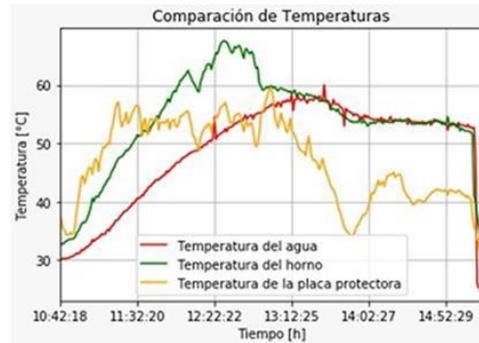
En la gráfica 3, se puede apreciar que las temperaturas ubicadas dentro del horno son superiores a la temperatura del ambiente, así mismo, se consigue visualizar, que tanto la temperatura del horno y del agua, van a la par, sin embargo, se encuentra una pequeña diferencia entre ambas, pero a partir de las 13 horas aproximadamente,



estas se llegan a mantener semejantes, cabe mencionar que esto sucedió cuando la temperatura ambiente llegó a su punto máximo. En el segundo prototipo, se muestra las temperaturas dentro del horno solar en las horas de funcionamiento, registrando de 12:00- 13:00 las temperaturas más elevadas, superando los 60 °C (gráfica 4), dicha gráfica demuestra perturbaciones importantes, debido a que se mantiene de manera inestable la irradiación por el clima parcialmente nublado, además de mostrar una caída de temperatura entra las 13:00-14:00 debido a una leve llovizna que afectó principalmente a cubierta de vidrio.



Gráfica 3. Comparativa del comportamiento de la temperatura solar del horno solar A y el ambiente



Gráfica 4 Comparativa del comportamiento de las temperaturas del horno solar B

5. Conclusión

Se compararon las condiciones de secado que se consiguen en dos cocinas solares utilizadas, ambas construidas con diferentes configuraciones de espejos reflectantes pero con la misma capacidad, esto con el objetivo de determinar la que lograra alcanzar mayores temperaturas, lo que se traduce en disminuir tiempos de cocción. Ambos equipos logran mantener temperaturas uniformes respecto de la irradiancia solar recibida en su interior. Las bajas temperaturas en distintos puntos que se observan en ambos hornos son debido a que hubo nubosidad en distintos lapsos del día y que prácticamente en toda la medición hubo muchas variaciones de temperatura, por motivo del aleatorio comportamiento del clima en Campeche durante los días de prueba. Se puede concluir que en ambos prototipos se alcanzaron temperaturas muy semejantes, a pesar de no obtener las temperaturas deseadas en el horno solar, sí se consigue mantener por un periodo de tiempo largo la temperatura en su interior dando como resultado la posibilidad de cocción de ciertos alimentos que requieren temperaturas intermedias o bajas; es importante recalcar que el horno



A alcanza ligeramente mayor temperatura que el horno B en las horas de mayor insolación. En cuanto a costo, la fabricación del horno A resultó más económica que el horno B, sobre todo por el material adicional al colocar mayor cantidad de aletas reflectantes. El uso de esta tecnología para la cocción de alimentos trae consigo beneficios importantes para el medio ambiente, debido a que no se emite ningún tipo de contaminante.

6. Agradecimientos

Agradecemos a los alumnos de 7º. Semestre de la Licenciatura en Ingeniería en Energía de la Facultad de Ingeniería, por su entusiasta participación en el artículo presentado.

7. Referencias

- [1]. (S.F). (2018). "Cocina con el Sol es limpio y saludable". [online]. Available: <https://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>
- [2] Guía didáctica de Energía Solar Horno Solares. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, 2007.
- [2] "Relative Humidity – What Is It And Why Is It Important?", Vaisala. [Online]. Available: <https://www.vaisala.com/en/blog/2018-10/relative-humidity-what-it-and-why-it-important>. [Accessed: 27- Oct- 2020].
- [3]. W. Ajbar, "Sistema de concentradores solares de canal parabólico para la generación de calor de proceso: diseño, construcción y modelado matemático", Maestría en ingeniería y ciencias aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, 2018.
- [4]. J. Cuenca, A. Quinde, "Diseño y construcción de un hidroseguidor para el control del seguimiento de una cocina solar parabólica", Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniero electromagnético, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2010.



41 **Cinética de secado de cecina con flujo forzado de aire**

Ángel Tlatelpa Becerroa,^b * Marlen Hernández Mazón^a Miguel Barreto Gutiérrez^c David Olivos Juárez^a Samuel Portillo Contreras^a Cesar Torres Segundo^d Esteban Montiel Palacios^d Noel Morales Muñiz^c Julio Pérez Machorro^a

^aEESYecapixtla-UAEM, C.P. 62820, Yecapixtla, Morelos, México.

^bUniversidad Politécnica de Atlautla, C.P. 56970, Atlautla, Estado de México, México.

^cInstituto Tecnológico de Cautla-TECNM, C.P 62745, Yecapixtla, Morelos, México.

^dEESXalostoc-UAEM, C.P. 62715, Xalostoc, Morelos, Morelos, México.

Autor de correspondencia: angel.tlatelpa@uaem.mx

1. Resumen

Este trabajo de investigación presenta el secado de Cecina con origen del municipio de Yecapixtla, del Estado de Morelos, México. Para el proceso de secado se hace uso de un secador solar indirecto con flujo forzado. El comportamiento de la cinética se observa con cambios significativos en la pérdida de peso y humedad, así como, en los niveles de pH y salinidad de la Cecina. Los resultados han mostrado una pérdida significativa de humedad y peso de la muestra con valores de 70.1 a 20.1 % y 40 a 11.91 g, respectivamente. Igual, se presentó un aumento y mayor concentración de salinidad (7 a 44 %) y una mejora en el nivel de pH (4.98 a 5.77). El secado solar con el uso de equipos solares presente en este trabajo se convierte en una buena y viable alternativa para darle un plus a la producción de Cecina de Yecapixtla.

Palabras clave: Secado solar; cinética de secado; Cecina de Yecapixtla.



1. Keywords

This research paper presents Cecina's drying originating in the town of Yecapixtla in Morelos, Mexico. An indirect solar dryer with forced flow is used for drying. The kinetics behavior is observed in the weight and moisture loss changes. This in the pH and salinity levels of the Cecina. The results show humidity and significant weight loss of the sample with values of 70.1 to 20.1% and 40 to 11.91 g, respectively. Likewise, there was an increase and higher concentration of salinity (7 to 44%) and an improvement in the pH level (4.98 to 5.77). Solar drying with the use of solar equipment present in this work becomes a good and viable alternative to give a plus to the production of Cecina de Yecapixtla.

Keywords: solar dryer; drying kinetics; Cecina from Yecapixtla.

1 INTRODUCCIÓN

Yecapixtla es un municipio del Estado de Morelos, que hoy en día es reconocido a nivel mundial por la preparación de su Cecina. La tradicional Cecina negra, que se consume en todo México se conoce como Cecina de Yecapixtla, y se obtiene de la res. Su preparación es artesanal, sobre todo único, por su incomparable e inigualable sabor, color, aroma y calidad. Para su preparación, se considera un ritual porque se prepara con las manos, y no se hace uso de equipos en el proceso. Para obtener los mejores cortes, con las características de suave, delgado y en una sola pieza infinita, la pierna y el lomo de res son considerados para la producción. Cuando se obtiene el corte de la carne, este se le agrega sal para absorber las propiedades. Posteriormente, se expone al sol en tablas, y al final se le unta manteca para que de la misma manera este absorba sus propiedades. El método que han empleado los productores es el secado al sol abierto, y se ha empleado en países donde la radiación solar es abundante [1], tales como los países tropicales y subtropicales [2], [3]. Sin embargo, aunque es una buena alternativa de secado, los alimentos llegan a contaminarse por la infestación de insectos, polvo, y pueden no ser aptos para su consumo, así como, también, la exposición directa del producto al sol lo deteriora cambiando las características de aspecto.

Por otro lado, buscar alternativas que ayuden a mejorar el secado de la Cecina de Yecapixtla, empleando secadores con el uso de fuentes de energía renovables sigue siendo un desafío, debido a que están poco desarrolladas y requieren de un diseño de acuerdo a las condiciones ambientales [4]. Aunque existen secadores que emplean



el Gas LP y la electricidad, estos llegan ser costosos y contaminantes al ambiente [5]. Por lo tanto, el secado solar es buena opción para este proceso, ya que brindan buenas características de aspecto en el secado de diferentes alimentos y carnes [1], [6], [7].

Esta investigación presenta el estudio de la cinética de secado de la Cecina de Yecapixtla con el uso de un secador solar, a través del uso del modelo de difusión de Fick. El pH y la salinidad se miden antes y después del proceso de secado para garantizar la calidad de la Cecina. Las condiciones ambientales, tal como la radiación solar y la temperatura ambiente se consideran para el proceso de secado.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Una muestra de Cecina se utiliza para el proceso de secado. Esta fue almacenada en un enfriador a 4 °C antes de su procesamiento, Figura 1.



Figura 1. Muestra de Cecina.

2.1 Propiedades Fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas en este estudio corresponden al pH y la salinidad. Estas se consideran importantes para la conservación de este. Cuando estas propiedades varían, pueden indicar una degradación temprana del producto. Por lo tanto, cuando se hace uso del secador solar se busca que el producto mejore estos parámetros. El pH y la salinidad se miden a partir de la pulpa de la Cecina. La humedad y el peso inicial se miden para estimar el tiempo de secado adecuado en el experimento, con una termobalanza FLB Forelibra con precisión de 0.001g. El pH se mide con un medidor de pH digital (YSWHLI). Mientras que, la concentración de la salinidad se mide con un refractómetro ATC con una presión de 1% (1.000 a 1.070 kg a 100 ppt). Para determinar el peso y las dimensiones físicas de la muestra *m* se usa una balanza digital (KUBEI Jewelry Scale 0.001g) y un vernier digital (YUGENER ±0.02mm)



2.2 Secado Solar

El secador solar cuenta con dos partes principales. La primera corresponde a un captador solar con un ángulo de 24° orientado hacia el sur. Este cuenta con 16 tuberías de cobre pintadas de color negro mate para la absorción de la radiación solar. Una cubierta de acrílico transparente de 4 mm en la parte superior para evitar pérdidas convectivas y por radiación. El flujo de aire que ingresa al captador es por convección forzada con el uso de dos ventiladores NMB, que se transporta hacia la cámara de secado. La velocidad del flujo de aire se mide con un anemómetro UT363. La segunda parte corresponde a la cámara de secado. Esta se encuentra pintada de color negro mate para la absorber la radiación solar y aprovechar al máximo la energía. A su vez, cuenta con quince secciones para la puesta de bandejas para secar el producto. Las bandejas están hechas de un marco de aluminio con malla nylon. Las dimensiones del captador son, longitud (L_c) 2.145 m, ancho (W_c) 0.95 m y alto (D_c) 0.13 m. Para la cámara, alto (L_{ch}) 1.01 m, ancho (W_{ch}) 1.0 m and profundo (D_{ch})

0.455 m (Figure 2).



Figura 2. Configuración del Secador Solar.

Para la medición de las condiciones ambientales se usó una estación meteorológica Ambient Weather WIFI OSPREY modelo WS-2902A. La estación se instaló junto al secador solar con



una altura de 3.5 m para obtener datos precisos. Los datos se adquirieron y registraron vía remota a través de una computadora personal.

2.3 Modelos de Cinética de Secado

La difusividad de la humedad es un parámetro importante que depende de las condiciones de secado y las propiedades del material. Para determinar la difusividad se supone una distribución uniforme de la humedad en la masa de la muestra, y la transferencia de masa es simétrica al centro, el equilibrio entre la superficie de humedad y el aire circundante; resistencia de transferencia de masa insignificante en la superficie en comparación con la resistencia interna de la muestra; masa. La transferencia se realiza por difusión; el coeficiente de difusión es constante y la contracción es despreciable [8]. Bajo estos supuestos y premisas, la solución de la ecuación de difusión de Fick se presenta en la Ecuación 1.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (1)$$

Donde MR es la relación de humedad (término adimensional); L es el espesor de media del corte en laminas infinitas de Cecina (m). El coeficiente de difusividad efectiva se calcula a partir de la Ecuación 1. Por lo tanto, se aplican las propiedades de los logaritmos y la ecuación se obtiene de la siguiente manera:

$$\ln(MR) = -\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t + \ln \frac{8}{\pi^2} \quad (2)$$

Por consecuente, el coeficiente de difusividad efectiva se determina graficando el tiempo de secado (t) contra los datos experimentales de la relación de la humedad logarítmica $\ln(MR)$, obteniendo una línea recta con una pendiente (*Slope*).

$$S_{lope} = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (3)$$

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

El experimento de secado de Cecina se llevó a cabo el 16 de noviembre del 2021, en el horario de las 10:00 a 16:00 horas en la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla Morelos, México, a una latitud de 18°51'09.6" N y longitud -98°52'11.0" W.



3.1 Datos Radiación Solar, Temperatura Ambiente y Cámara de Secado, Velocidad del Aire

Los datos de la radiación solar, temperatura ambiente, velocidad del flujo de aire que ingresa al captador solar y la temperatura de la cámara de secado se muestran en la Figura 3. Los datos de clima se registraron para un día parcialmente soleado, lo que implica la variación de los datos. La velocidad del aire varía entre 3.2 a 3.8 m/s.

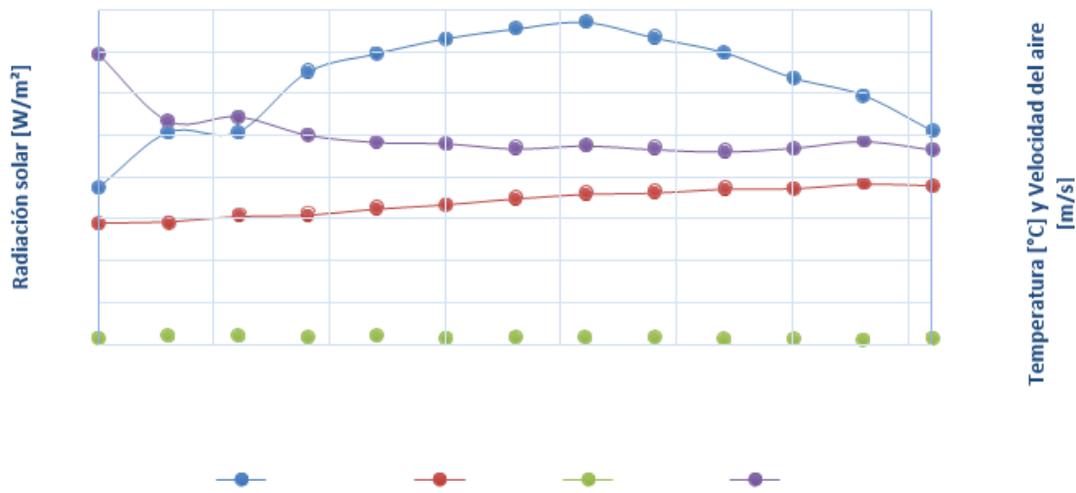


Figura 3. Datos Meteorológicos Medidos y Registrados el día 16 de noviembre del 2021. Temperatura de la Cámara de Secado y Velocidad del Flujo de Aire que Ingresa al Captador Solar.

3.2 Cinética de Secado

En esta subsección se presentan los datos de las propiedades fisicoquímicas determinadas, así como las dimensiones geométricas de la Cecina. También, se presenta la pérdida de peso y humedad del producto, y la difusividad efectiva que se predice con el modelo difusivo de Fick. Por último, el cambio de color de la Cecina durante el proceso de secado.

Antes del proceso de secado, las propiedades del pH y la salinidad se determinaron a partir de una muestra, estos resultados son de 4.98 y 7 %. Mientras que, después del secado, el pH aumenta su alcalinidad a un valor de 5.77, y la salinidad aumenta considerablemente a 44%. Este último, tiene un cambio significativo, esto debido al aumento de temperatura en el proceso de secado. Sin embargo, la variación



de la temperatura afecta la concentración de este parámetro, que a su vez depende de la energía radiante que llega al equipo solar.

La Tabla 1 muestra los cambios de la longitud, ancho y espesor de la Cecina durante el proceso de secado. Como se puede observar, la longitud reduce 2.9 cm, mientras que el ancho reduce 3.8 cm, y 1.1 cm por un periodo de tiempo de 6 horas. El parámetro que tuvo cambio significativo es el espesor con un porcentaje del 73.3 %, seguido del ancho con 38.8 %, y, por último, la longitud con 20.3 %, teniendo mayor afectación de reducción el primero debido al contenido de humedad de la muestra de Cecina.

<i>t (min)</i>	Longitud	Ancho	Espesor
0	14.3	9.9	1.5
30	13.6	9.5	1.45
60	13.6	8.8	1.4
90	12.7	8.7	1.1
120	12.4	8.3	1
150	12.3	8.1	0.8
180	12.1	7.7	0.8
210	11.7	7.47	0.7
240	11.5	7.28	0.6
270	11.8	6.8	0.55
300	11.5	6.67	0.4
330	11.4	6.1	0.4
360	11.4	6.1	0.4

La humedad y el peso inicial de la muestra antes de iniciar el proceso de secado se obtuvieron de 70.1 % y 40 g. Los resultados de la curva de secado de la muestra de Cecina se muestran en la Figura 4. El comportamiento de la curva disminuye de manera exponencial con respecto al tiempo. La mayor pérdida de estos parámetros ocurre al minuto 30. Al minuto 300, no se cuenta con un cambio significativo. Por lo tanto, a los 360 minutos se alcanza una humedad de 20.1 % y un peso de 11.97 gramos, Figura 4.

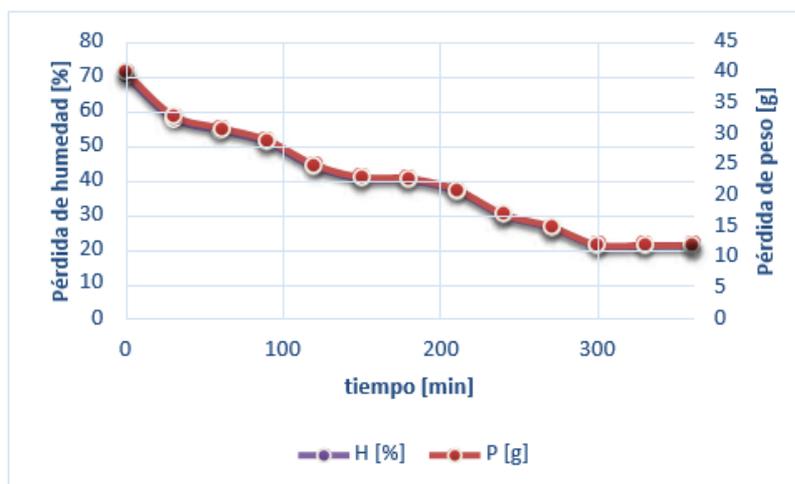


Figura 4. Pérdida de peso (P) y humedad (H) de la Muestra Durante el Proceso de Secado.



La difusividad efectiva $Deff$ es un coeficiente que toma en cuenta varios fenómenos relacionados con la pérdida de agua de los alimentos. La $Deff$ se calcula con el ajuste de los datos experimentales con las temperaturas alcanzadas en el interior de la cámara de secado (Figura 3) utilizando el modelo de difusión de Fick. El modelo logra predecir la cinética de secado, despreciando la contracción de la muestra. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la difusividad efectiva, mejorando la transferencia de masa. Sin embargo, la transferencia de masa disminuye cuando la humedad en el producto aumenta proporcionalmente. La estructura de la muestra de Cecina, los espacios intersticiales aumentan cuando el contenido de humedad tiende a disminuir proporcionalmente, y, en consecuencia, facilita la eliminación del agua. La difusividad efectiva encontrada es de $2.644 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Sin embargo, $Deff$ mejora cuando el espesor de la muestra de la Cecina disminuye, debido a la variación de la temperatura. Por consiguiente, la superficie de la muestra se seca muy lentamente a bajas temperaturas, mientras que, cuando la temperatura incrementa la superficie crece a mayor velocidad. Por último, el movimiento del agua se controla por difusión dentro del producto. Por tanto, a bajas temperaturas, la superficie de las muestras se seca muy lentamente. Mientras que, cuando la temperatura aumenta y es lo más estable posible, la superficie se seca más rápidamente y el movimiento del agua se controla por difusión dentro de la carne, ver Tabla 2.

<i>t</i> (min)	Longitud	Ancho	Espesor
0	14.3	9.9	1.5
30	13.6	9.5	1.45
60	13.6	8.8	1.4
90	12.7	8.7	1.1
120	12.4	8.3	1
150	12.3	8.1	0.8
180	12.1	7.7	0.8
210	11.7	7.47	0.7
240	11.5	7.28	0.6
270	11.8	6.8	0.55
300	11.5	6.67	0.4
330	11.4	6.1	0.4
360	11.4	6.1	0.4

Tabla 2. Difusividad Efectiva Versus Temperatura al Interior de la Cámara de Secado.

Por otro lado, como se ha mostrado, durante el proceso de secado, a medida que transcurre el tiempo, las muestras se encogen, ver Tabla 1. Sin embargo, durante el proceso de secado de la Cecina, también ocurre un oscurecimiento. El cambio de color va de marrón claro a marrón oscuro, así mismo, se intensifica el brillo en su superficie. La muestra se vuelve dura, y la separación entre la estructura se presenta durante el secado. El olor se manifiesta con mayor concentración versus al estado natural, ver Figura 5.



Figura 5. El cambio de Color con el Tiempo de Secado se Representa de Izquierda a Derecha en la Imagen.

En este trabajo, uno de los parámetros importantes que se midieron y que regulan la calidad de un producto cárnico, esta relacionado con la capacidad de retención de agua y su vida útil (pH). Algunas investigaciones, tal como [9], reportan un pH de la carne de res de 5.0 a 5.3, mientras que [10] presenta valores de 5.47 a 6.69 para cortes láminas de res. Comparando estos datos reportados con esta investigación, el pH antes del secado se determinó con un valor de 4.98, que se encuentra muy cercano al reportado con el primer caso. Mientras que, después del proceso de secado, el pH determinado fue de 5.77, este valor se encuentra dentro del intervalo que presenta el segundo. El incremento del pH durante el proceso de secado, nos indica que el producto mejora su calidad, debido a que, una disminución del pH, la Cecina aumentaría su acidez.

Con respecto a la salinidad, antes del secado se midió la concentración obteniendo un valor de 7 %, posterior al secado, este aumento un 84.1 %, concentrándose en un 44 % de salinidad. Esta concentración indica que, puede ser un buen parámetro de conservación frente a un ataque microbiano y de esta manera prolongar la vida útil del producto para su conservación y transportación. Los resultados obtenidos con el proceso de secado con el uso del secador bajo estudio, ofrece mejores características de apariencia, en el pH y salinidad. Así, el equipo solar presentado en este trabajo es una opción para secar la Cecina de Yecapixtla.

4. Conclusiones

Un secador solar de flujo forzado se ha usado para secar la Cecina de Yecapixtla. Los resultados han mostrado mejoras en las características del producto, y reducido el tiempo secado. El pH ha mejorado, aumentando su alcalinidad, y la salinidad de la muestra se concentró significativamente debido a la temperatura del flujo de aire que pasa a través de los espacios intersticiales de la muestra, eliminando el agua, reduciendo su peso y humedad, y por consecuencia aumentando la concentración de sales. También, los coeficientes de difusividad efectiva que se han obtenido se



encuentran muy cercanos a los reportados en la literatura [11].

El equipo solar ha presentado una buena capacidad de secado a pesar de las condiciones meteorológicas presentes en los experimentos. Por lo tanto, esta tecnología llega a ser una opción para el secado de cárnicos, tal como lo muestra este estudio con la Cecina de Yecapixtla.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos por brindar las facilidades de esta investigación.

6. Referencias

- [1] A. Kumar, K. U. Singh, M. K. Singh, A. K. S. Kushwaha, A. Kumar, and S. Mahato, "Design and Fabrication of Solar Dryer System for Food Preservation of Vegetables or Fruit," *J Food Qual*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6564933.
- [2] A. O. Adelaja and B. I. Babatope, "Analysis and Testing of a Natural Convection Solar Dryer for the Tropics," *Journal of Energy*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1155/2013/479894.
- [3] A. El-Beltagy, G. R. Gamea, and A. H. A. Essa, "Solar drying characteristics of strawberry," *J Food Eng*, vol. 78, no. 2, pp. 456–464, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.015.
- [4] I. N. Simate and S. Cherotich, "Design and Testing of a Natural Convection Solar Tunnel Dryer for Mango," *Journal of Solar Energy*, vol. 2017, pp. 1–10, Oct. 2017, doi: 10.1155/2017/4525141.
- [5] A. D. Chaudhari and S. P. Salve, "A Review of Solar Dryer Technologies," *International Journal of Research in Advent Technology*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [6] S. el Broudi et al., "Investigation of drying kinetics and drying conditions on biochemical, sensory, and microstructural parameters of 'Sefri' pomegranate arils (*Punica granatum* L. a Moroccan variety)," *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 21, no. 3, Sep. 2022, doi: 10.24275/rmiq/Alim2813.
- [7] W. Jangsawang, "Meat Products Drying with a Compact Solar Cabinet Dryer," in *Energy Procedia*, 2017, vol. 138, pp. 1048–1054. doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.103.
- [8] M. A. Rao, S. S. H. Rizvi, and A. K. Datta, *Engineering properties of foods*. Taylor & Francis, 2005.
- [9] N. J. King and R. Whyte, "Does it look cooked? A review of factors that influence cooked meat color," *Journal of Food Science*, vol. 71, no. 4, May 2006. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00029.x.
- [10] F. A. Ribeiro et al., "Ultimate pH effects on dry-aged beef quality," *Meat Sci*, vol. 172, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108365.



[11] E. A. Mewa, M. W. Okoth, C. N. Kunyanga, and M. N. Rugiri, "Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer," *Renew Energy*, vol. 139, pp. 235–241, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.067.





42 **Inocuidad, eficiencia energética y preservación; barreras en el desarrollo integral del secado solar de alimentos.**

Isaac Pilatowsky Figueroa^a, Beatriz Castillo Téllez^b, Erick César López Vidaña^c,
Octavio García Valladares^d

^a*Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Exactas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México, pilatowsky140372@gmail.com*

^b*Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México*

^c*Departamento de Ingeniería Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Durango, México.*

^d*Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Temixco, Morelos, México*

1. Resumen

Las tecnologías de secado solar, a pesar del desarrollo tecnológico alcanzado, no han logrado en lo general, integrarse adecuadamente en la economía, ni en la sociedad rural. Las exigencias de una vigilada inocuidad, que garantice la higiene y un manejo adecuado de los productos, así como la necesidad de mejorar la eficiencia térmica del proceso y la adopción de mejores métodos de preservación, han sido las principales barreras, para el desarrollo del secado solar, que han obstaculizado la aceptación y la comercialización de los productos deshidratados en los mercados nacionales e internacionales. En el presente trabajo se analizan los diferentes impactos de estas barreras, así como la propuesta de estrategias que podrían coadyuvar a una mejor integración de estas tecnologías en los sectores rurales agrícolas, pecuarios y pesqueros.

Palabras clave: secado solar, inocuidad alimentaria, cadena alimentaria, alimentos deshidratados.

1.1 Abstract

Solar drying technologies, despite the technological development achieved, have generally failed to integrate adequately into the economy or society of the rural regions. The demands of a supervised innocuousness, that guarantees the hygiene and an adequate management of the products, as well as the need to improve the thermal efficiency of the process and the adoption of better methods of preservation, have been the main barriers for the development of solar drying, which have



hampered the acceptance and commercialization of dehydrated products in national and international markets. In this paper it analyzes the different impacts of these barriers, as well as the proposal of strategies that could contribute to a better integration of these technologies in the rural agricultural, livestock and fishing sectors.

2. Introducción

El secado de alimentos es una de las más importantes tecnologías de conservación, utilizada desde los albores de la humanidad, en donde persiste aún su aplicación en las comunidades rurales agrícolas, pecuarias y pesqueras, contribuyendo a la seguridad alimentaria, principalmente en la producción de granos básicos: trigo, arroz y maíz y en menor proporción a frutas, vegetales, cárnicos y pescados.

El tiempo y la calidad del producto deshidratado dependen de varios factores, entre ellos, el tipo, origen y características de la materia prima, la tecnología y la energía utilizadas, de las variables climáticas y del proceso; temperatura, velocidad y humedad del aire, de las características físicas, organolépticas y funcionales del producto que se quieren conservar, de la capacidad de producción y de las características deseadas del producto final. En lo general, una alta temperatura y baja humedad del aire de secado, así como un tamaño reducido y alta porosidad del producto favorecen la velocidad de secado, sin embargo, un exceso de estos, puede provocar efectos no deseados.

Al tratarse del secado de alimentos, un elemento primordial es ofrecer un producto inocuo, siendo necesario la implementación de protocolos y medidas de higiene en cada uno de los diferentes procesos que lo acompañan. Los principales retos establecidos en el proceso de secado se refieren a: A) Mantener la calidad (sabor, textura, funcionalidad), B) Incrementar el contenido nutricional, C) Reducir factores anti nutricionales o tóxicos, D) Mantener la funcionalidad estructural y E) Mantener los compuestos bioactivos.

La producción de alimentos es altamente intensiva en el consumo energético y de agua y el sistema alimentario depende en su mayoría, por entero de la disponibilidad oportuna, en cantidad y calidad, de los hidrocarburos, principalmente del petróleo. Por el momento las estrategias son: reducir el consumo de hidrocarburos, aprovechar el calor de desecho industrial o comercial, y maximizar el uso de las energías renovables provenientes principalmente de la energía termo solar,



de la geotermia, sin olvidar el importante recurso energético de la bioenergía, derivada del uso directo o de su transformación

En general las energías renovables coadyuvarán en la transición energética, disminuyendo las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero, haciendo frente a la escasez de combustibles fósiles, disminuyendo el consumo de esta energía, protegiendo la salud y el medio ambiente y fortaleciendo la disponibilidad en los bancos mundiales de alimentos, contribuyendo a resolver los problemas planteados por la suficiencia alimentaria. Es claro el potencial de las Energías Renovables en el desarrollo económico, social y ambiental de las comunidades rurales, proviendo de tecnologías energéticas sencillas y económicas, para la conservación de los alimentos para su autoconsumo o comercialización.

La tecnología del secado de alimentos está dirigida en prioridad al sector productivo agropecuario y pequero de las zonas rurales, con el propósito de disminuir en lo posible las pérdidas, dar un valor agregado a los productos y promover la generación de industrias de transformación, con objetivo de mejorar el bienestar económico y sociales de estas comunidades. Con base a lo anterior, el usuario deberá contar con una tecnología de secado sencilla, de bajos consumos energéticos y de insumos, requerimientos mínimos de mantenimiento y operación, con la mayor eficiencia y capacidad de producción posibles, sin olvidar los requerimientos sanitarios para ofrecer un producto seguro para su consumo.

1.1 El secado solar de alimentos

En la exposición directa del alimento al ambiente, en donde la combinación de los efectos de la radiación del sol y el viento, produce la eliminación total o parcial de su contenido de agua, lo cual contribuye a inhibir parcial o totalmente la actividad biológica de microorganismos causantes del deterioro de los alimentos, prolongando su vida útil, ha sido el método de conservación tradicional más utilizado en las regiones rurales del mundo, en donde se produce la mayor cantidad de alimentos de origen vegetal y animal.

Sin embargo, debido a las condiciones ambientales cambiantes, la deshidratación de alimentos se realiza ineficientemente, debido a problemas de contaminación por contacto de animales y de los mismos productores, ataques de insectos y roedores, posible rehidratación por lluvia y tiempos muy largos de secado, con problemas asociados de oxidación, cambios de coloración y pérdidas de nutrientes. Dando origen a pérdidas muy importantes, disminuyendo la capacidad de



producción y sobre todo pérdidas económicas debido a los consumos de la energía y agua requeridos, [1].

El secado al Sol es económico y permite tratar grandes cantidades de alimentos, la cual se realiza extendiendo el producto en grandes extensiones de suelo, requiriendo de mano de obra intensiva y especializada para mover el producto y controlar en lo posible el proceso. Otras modalidades, son la exposición del alimento en posición vertical o dejándolo que se deshidrate en la misma planta, en ambos casos, los periodos de secado son muy largos y la calidad e inocuidad de los alimentos deshidratados no es la adecuada, [2].

El secado utilizando la energía solar ha evolucionado, ofreciendo diversas tecnologías que ofrecen en la mayoría de los casos un uso más eficiente de la energía, un mayor control de las variables del proceso, mejor conservación de sus propiedades nutrimentales y organolépticas y una mejor protección del alimento por posibles daños ambientales, [3]

A pesar de la gran diversidad de la oferta de tecnologías de secado solar, de los números trabajos publicados, de las experiencias y lecciones aprendidas, de la creación de redes y proyectos productivos auspiciados por organismos internacionales, lo anterior no han sido significativas y en la mayoría de los casos no han permeado en el sector rural. En el presente trabajo se presentan algunos aspectos que han formado algunas barreras de diversas naturalezas que han contribuido a inhibir el desarrollo del secado solar en diferentes sectores de la producción primaria de alimentos.

En este trabajo se presenta un análisis general de las barreras que han limitado el desarrollo y la aplicación de las tecnologías de secado solar en el medio rural, sin considerar los aspectos culturales.

2. Análisis de las barreras limitantes

En este análisis general se consideran cinco aspectos importantes que influyen en el desarrollo del secado solar; 1. La materia prima, 2) los procesos previos, durante y posteriores, 3) la eficiencia energética del proceso de secado, 4) la inocuidad e higiene, y 5) la comercialización. que de no llevarse de una manera adecuada y completaría, resultarían en barreras que limitarían el buen desarrollo del proceso integral de secado solar, como serían un manejo inadecuado del alimento, llevarlo a cabo son considerar los procesos necesarios previos.



2.1 *La materia prima*

La selección o propuesta del alimento a tratar, es fundamental y es la que determina la factibilidad técnica y económica del proyecto de secado. Prácticamente la mayor parte de los alimentos pueden deshidratarse con diferentes objetivos ya sea para preservarlos, y acentuar o modificar sus propiedades organolépticas o funcionales

Para la selección de la materia prima para su secado, se deben de considerar varios aspectos, los ciclos de cosecha, versatilidad de tratarse diferentes productos, disponibilidad, accesibilidad, ya que se requiere una cantidad muy importante de material fresco para obtener el producto fresco, la cantidad de desperdicios generados, los requerimiento de mano de obra, para las diferentes etapas previas y posteriores del proceso, el control de contaminantes, cosechas orgánicas, posibilidades de recuperación de su productos o residuos y de las características propias del alimento:: grado de sequedad, estructura, aspecto, color, factores que influyen en su deterioro, presentación, requerimientos de envase y almacenamiento, las condiciones para su adecuada transportación e indicaciones para su manejo y consumo final. La rentabilidad económica del proceso se basará en las fluctuaciones de los costos de producción o adquisición de la materia prima, de inversión, de mano de obra y todos los asociados en función de las características del producto.

2.1.1 *Factores de riesgo y deterioro*

Es muy importante, conocer los factores y condiciones del deterioro del alimento durante las etapas previas, durante y posteriores al secado.

Los cultivos de alimentos son invadidos por insectos y muy diversas clases de microorganismos que modifican sus propiedades organolépticas y funcionales. La existencia bacterias, hongos, mohos y levaduras entre otros, produciendo cambios enzimáticos, químicos, cambios de color y sabor. A) cambios enzimáticos: oxidación de sustancias fenólicas, (pardiamiento) conversión azúcar-almidón, desmetilización de sustancias pépticas (ablandamiento). Su control es; la temperatura, el agua, el PH, químicos inhibidores y alteraciones de sustratos, B) Cambios químicos, color y sabor, C) Cambios físicos, Calidad nutritiva, estructura, etc, y D) Cambios biológicos: Micro y Macro biológicos [4].

El deterioro se debe a parámetros intrínsecos y extrínsecos; Los intrínsecos, son debidos a la naturaleza propia del producto, contenido de humedad, PH, constituyentes, estructura biológica, entre otros Los extrínsecos son debidos a las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y contaminaciones asociadas al manejo, almacenamiento, transporte y comercialización. Muchos de Los



deterioros de los alimentos se llevan a cabo durante el cultivo y la cosecha, lo que hace necesario el uso de insecticida, por lo general se usan de productos químicos que contaminación de los alimentos, siendo importante el lavado y la desinfección, antes de su secado.

3. Procesos previos, durante y posteriores al secado

3.1 Procesos de pre-secado

El origen del alimento: cosecha, crianza y pesca, determinará las características de cada una de las etapas previas y posteriores al secado. En el caso del deshidratado de verduras y frutas, el proceso de pre deshidratado consiste: Recepción, selección, almacenamiento del producto fresco, lavado y desinfectado, pelado, cortado, deshuesado, etc. así como el, manejo de desperdicios para su reutilización o desecho. Con el objeto de mejorar la calidad y apariencia del producto fresco, evitando la oxidación, o conservando el color y texturas se realiza un control químico, adicionando soluciones ácidas, exponiendo a una sulfatación o azufrado y aplicando el blanqueado o escaldado.

3.2 El proceso de secado

Los aspectos asociados a la deshidratación son: c) relación de producto fresco a producto final, d) contenido de aceites y grasas, e) textura de la pulpa, f) contenido de semillas, g) características de corrosión y acidez, h) contenido de sustancias tóxicas y ácido oxálico, a) la temperatura, humedad y actividad de agua del producto antes y después de la operación y b) disminución de masa de la materia prima y el tiempo de secado.

3.3 El proceso de Post secado

Los productos específicos secos: productos enteros, polvos, harinas, cueros o laminas, purés, botanas, etc. La primera etapa consiste en una selección, eliminando los productos, que no respondan a los requerimientos establecidos de humedad, consistencia, color, sabor. Problemas de producción son los derivados de la formación de hongos, infestación, pardeamiento, rehidratación reducida. En este proceso es necesario realizar pruebas sobre el contenido final, de humedad y la actividad de agua, las características estructurales; correoso, masticable, duro, flexible, frágil, crujiente y la realización de pruebas organolépticas.



Cuando el alimento tiene humedades por debajo de un cierto valor, para conservarlo es necesario aislarlo de ambientes más húmedos y calientes, generalmente en medios de baja humedad y temperatura, para evitar por otro lado la contaminación de microorganismos y en ocasiones aislarlo también de la radiación ultravioleta.

Los alimentos en grandes cantidades se almacenan encostalados: azúcar, cereales, café, cacao, alimentos para mascotas, etc. Otros alimentos requieren de un medio de conservación por medio de empaques especiales, por lo general, los materiales de empaque deben ser compatibles con el alimento, herméticos, no tóxicos, con protección sanitaria de humedad y grasa, transparencia, impermeabilidad, resistentes a la luz, al impacto, fácil apertura y llenado, posibilidad de sellar, sin muchas limitaciones de tamaño, forma y peso, buena apariencia, posibilidad de imprimir, bajo costo y contener la información del contenido nutrimental y seguir los requerimientos establecidos por la normativa para el etiquetado.

Los materiales de empaque utilizado dependen mucho del material y las características de comercialización y son: a) papel que debe ser resistente, rígido opaco, con laminados de aluminio o láminas de celulosa, b) de plástico: polietileno, acetato de celulosa, cloruro de polivinilideno, cloruro de polivinilo, tereftalato de polietileno, c) láminas y hojas plásticas, d) receptáculos y empaques de materiales plásticos, e) laminados y empaques de papel y cartón, etc.

4. Eficiencia térmica.

El secado solar es un proceso muy complejo, cuyo comportamiento depende de la forma en cómo se evapora y elimina el agua, lo cual se ve reflejado en los diferentes parámetros de operación que determinan su comportamiento térmico son: a) los mecanismos asociados de transferencia de calor y masa, b) las características de la superficie de secado, c) la temperatura, sequedad y velocidad del aire, d) la presión atmosférica, e) las relaciones entre la evaporación y temperatura y entre el tiempo y la temperatura, así como f) el producto, g) las variaciones de intensidad, tiempo de exposición, intermitencia y su incidencia sobre el producto (directa o indirecta), entre otros.

Existen diferentes clasificaciones de las tecnologías de secado solar: a) en relación a la forma que incide la radiación solar: directos, indirectos y mixtos, b) por el tipo de cámaras de secado: gabinete, túnel horizontal y vertical, tambor,



invernadero, c) por el tipo de circulación y dirección de aire: natural o forzada, contracorriente, paralela o perpendicular, d) tipo de proceso: continuo, por lotes e) capacidad de producción: baja, mediana y alta, f) versatilidad para tratar diversos productos g) sistemas auxiliares de calentamiento: combustibles líquidos, gaseosos o sólidos, electricidad, radiación con microondas, inducción, etc. h) sistemas de control y automatización, i) con almacenamiento térmico sensible o latente. [5]

La eficiencia térmica en un proceso de secado de alimentos, se presenta en términos generales como la conversión de energía a cantidad de agua evaporada en un proceso de secado, se presenta como un valor determinado y en la mayoría de los casos invariable, sin embargo, no provee información suficiente sobre la influencia de las variables operacionales sobre el mecanismo de deshidratación, ni el efecto de la adecuación y comparación de otras tecnologías disponibles. La mayor parte de las propuestas tecnológicas del secado solar, se basan en mecanismos de transferencia de energía y masa, que se desarrollan a partir de incrementos convectivos naturales, en donde el aire exterior se usa como medio de calentamiento y extracción de la humedad del alimento, [6]

En la mayor parte de los trabajos realizados en secado solar, se desconoce la variabilidad de los valores de la eficiencia térmica en función de las variables de operación, debido en parte a la limitación de no contar con métodos de control, principalmente sobre la intensidad y el tiempo de exposición de la radiación solar incidente y su intermitencia, así como de las condiciones ambientales del aire. Lo anterior da como resultado, que el proceso de secado se realice con tiempos y características diferentes del producto deshidratado, con posibles cambios químicos, físicos y biológicos en detrimento de su calidad y con pocas posibilidades de su consumo.

5. Inocuidad e higiene Alimentaria

Existe un sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos, que ha sido adoptado por 150 países, conocido como Análisis de Peligros y Puntos crítico de Control, APPCC o HACCP (por sus siglas en inglés), considerando los Principios Generales de Higiene Alimentaria del CODEX Alimentarius exc 1- 1969 .Las empresas que elaboran, procesan o distribuyen alimentos están obligados jurídicamente a cumplir con los reglamentos de higiene vigentes y funcionar en conformidad con las directrices del APPCC. Es un proceso sistemático preventivo para garantizar la inocuidad alimentaria, de forma lógica y objetiva. Un sistema de gestión de la calidad para garantizar el cumplimiento de las normas de calidad de cada producto. Tiene por objetivo



identificar y controlar los peligros potenciales en puntos específicos del proceso, es decir, reducir el riesgo de peligros por la seguridad alimentaria, previendo la contaminación. La inocuidad se aborda a través del análisis y control de los peligros biológicos, químicos y físicos desde la producción, adquisición y manipulación de materias primas, hasta la fabricación, almacenamiento, transporte, distribución y consumo final de un producto terminado.

La Norma ISO 22000;2005 es un estándar internacional que está orientado a la inocuidad alimentaria, en donde se combinan las normas ISO 9001 y el sistema basado en APPCC, certificando el cumplimiento del sistema de inocuidad alimentaria en todos los procesos implicados desde la producción hasta el consumo [7]

4.2 Higiene alimentaria

Parte fundamental para complementar la inocuidad alimentaria en el proceso de secado, son los protocolos de higiene en toda la cadena de valor, en donde se cubren los espacios de trabajo, y de servicios: suministro de agua para servicios sanitarios y lavado, mesas y utensilios de trabajo, vestimenta de protección y aseo personal, de acuerdo con los protocolos establecidos, almacenamiento de productos frescos y secos, y en el transporte

La cadena de valor que incide en la selección correcta de materias primas y de los materiales utilizados en su preparación., Entre los aspectos a considerar en la manipulación higiénica se tiene: La higiene personal: salud del operario, vestimentas de protección: uniforme y equipo, proceso de lavado de manos. 2. La Limpieza y Desinfección: agua, desinfectantes y las, técnicas de dilución, técnicas de limpieza y desinfección. 3. Las Instalaciones: instalaciones físicas y equipos y utensilios, 4. La Microbiología: condiciones de desarrollo bacteriano: hongos o mohos, levaduras, microorganismos coliformes, 5. Las Enfermedades transmitidas por los alimentos. Tipos de contaminación: química, física, biológica y cruzada 6. El Manejo de la temperatura y la humedad para la conservación de materias primas y alimentos preparados, 7. La Recepción de los alimentos: productos de origen vegetal y animal, 8. El Almacenamiento de alimentos secos, en refrigeración, en congelación. y 9. El Control de plagas. [8](Amanda Gálvez M, 2010).



4.3 *Normativa mexicana*

4.3.1 Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios | 25 de octubre de 2016 | La COFEPRIS, es un organismo adscrito a la Secretaría de Salud, encargada de la regulación, control y fomento sanitario de productos y servicios, de su importación y exportación, así como de los establecimientos dedicados al proceso de los mismos. Realiza tareas de control y vigilancia sanitaria de alimentos y bebidas, suplementos alimenticios, materias primas y activos que intervengan en la elaboración control sanitarios se coordina con las autoridades sanitarias estatales, bajo un enfoque de riesgos en el marco del Programa de Alimentos. [9] <http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/certificación-de-alimentos-76095>

4.3.2 Reglamento de control sanitario de productos y Servicios. Se ha reformado, adicionado y erogado diversas disposiciones de este Reglamento y del Reglamento de la ley de Salud en materia de publicidad. , que comprende : materia prima, ingredientes y aditivos, riesgo y obligación sobre el etiquetado frontal. En el artículo X1 Bis 1. Se establece, que debe exhibirse de manera clara y visible cuando un producto presenta un contenido en exceso de energía, nutrimentos críticos e ingredientes que representen un riesgo para la salud.[10] <http://www.salud.mx> y <http://www.dof.gob.mx>

4.3.3 Manuales de Buenas Prácticas de Manufactura. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas y suplementos alimenticios Contiene los principios básicos y prácticas generales de higiene que se aplican a los procesos de elaboración y manipulación de alimentos, como herramienta fundamental para la obtención de productos inocuos

4.3.4 Programa de Manejo higiénico de los alimentos, distintivo H. Reconocimiento que otorga la Secretaría de Turismo y la Secretaría de Salud a los establecimientos fijos de alimentos y bebidas por cumplir con los estándares de higiene que marca la Norma Mexicana NMX-F-605-Normex.

[11] <http://www.gob.mx/sectur/acciones-y-programas/programa-manejo-higienico-de-los-alimentos-distintivo-h>

4.3.5 De acuerdo a la Ley General de Salud y la Secretaría de Agricultura, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación a través del servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) , se encarga del control de inocuidad durante la producción primaria, reduciendo los riesgos inherentes en materia agrícola, pecuaria acuícola y pesquera, en beneficio de productores, consumidores e industria. [12]



5. Comercialización

Uno de los cuestionamientos más importantes en el desarrollo del secado solar es la selección del producto y la importancia de deshidratarlo. El mercado internacional de alimentos secos de origen vegetal es muy conocido y comprende principalmente: granos, leguminosa, azúcar, café, cacao, alimentos para animales y un mercado más reducido corresponde a los aromáticos y plantas medicinales. Existen en el mercado productos secos que se integran a la elaboración de sopas, guisados, etc., así como en la preparación de una gran variedad de infusiones y usos en repostería. En los últimos años, los productos secos se han orientado mayoritariamente hacia el mercado de botanas, principalmente de frutas: manzanas, peras, uvas, piña, higos, mangos, ciruelas, arándanos, cocos, etc. y cítricos: limón, naranja, mandarina, etc. A excepción del mango y del coco, el secado de frutas tropicales y de plantas aromáticas y medicinales es muy reducido a pesar del gran potencial que representa.

En general, un producto seco es un alimento diferente al fresco, lo caracterizan su sabor, olor, consistencia, apariencia, por lo que se dificulta la introducción de nuevos deshidratados en mercados internacionales. Los factores que influyen, aparte de cubrir los requisitos de higiene e inocuidad establecidos por cada país, son el desconocimiento del aspecto y propiedades, a quien van dirigidos, la forma, el sabor y el aroma, su forma de preparación y la forma de presentación y de la publicidad que se debe de acompañar., así como el tamaño del potencial mercado. Es importante diversificar la producción de secos hacia una oferta de frutas, vegetales, aromáticos, medicinales, cárnicos, pescados y mariscos, en donde el aporte nutricional y funcional sean los principales objetivos.

Es necesario realizar estudios estadísticos sobre la aceptación del alimento seco, sobre todo si este no es conocido, realizando pruebas organolépticas y de diferentes formas de presentación, para ajustar el producto al gusto del potencial consumidor.

6. Conclusiones

En el secado solar de alimentos, se deben incluir de manera integral los procesos de pre, durante y pos secado, así como una vigilancia permanente en cada uno de ellos, para garantizar la higiene y la inocuidad del producto, adecuar la tecnología solar a la materia prima seleccionada, aumentar la capacidad de producción proyectando grandes instalaciones para cubrir en una mayor proporción los requerimiento de las producciones de alimentos, vincularse con otras fuentes renovables de energía para disminuir el consumo de hidrocarburos y atenuar su impacto ambiental, llevar a cabo



un uso racional del agua y un adecuado manejo de los residuos, considerar todos los parámetros que intervienen para mejorar la eficiencia térmica, para promover el consumo local e internacional, la comercialización debe de adoptar las medidas establecidas en la normativa y reglamentos vigentes. En términos generales, se pretende que el secado solar sea un proceso integralmente sustentable.

7. Referencias

- [1] Stella Maris Alzamora, Sandra Norma Guerrero, Andrea Bibiana Nieto, Susana Vidales, Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Manual de Capacitación. <http://www.fao.org/3/y5771s/y5771s.pdf> FAO, 2004
- [2] Umesh Toshniwal, S.R. Karale, A review paper on solar dryer, IJERA, 3, 2013
- [3] Tadeusz Kudra, Arun S. Mujumder *Advanced Drying Technologies*, , 2da. Ed.
- [4] María Luisa Colina Irezabal, *Deshidratación de Alimentos*, Editorial Trillas, 1ra, ed. 2010, ISBAN 978-607-17-0401-6
- [5] S. VijayaVenkataRaman, S Iniyar, Ranko Geic, A review of solar drying technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2652-2670, 2012
- [6] Sam Cherotich *Experimental investigation and mathematical modelling of a natural convection solar tunnel dryer*, IJSER, 7,5 2016.
- [7] CODEX Alimentarius exc 1- 1969 (HACCP MS, FAO, 2020).
- [8] Amanda Gálvez Mariscal, (Coordinadora). *Manejo Higiénico de los Alimentos*, Programa Universitario de Alimentos, UNAM, 2010.
- [9] [http://www.gob.mx/cofepris/acciones y programas/certificación-de- alimentos-76095](http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/certificación-de-alimentos-76095)
- [10] <http://www.salud.mx> y <http://www.dof.gob.mx>
- [11] [http://www.gob.mx/sectur//acciones-y-programas/programa-manejo- higienico-de-los- alimentos-distintivo-h](http://www.gob.mx/sectur//acciones-y-programas/programa-manejo-higienico-de-los-alimentos-distintivo-h)
- [12] <https://sistemasssl.senasica.gob.mx/mcrfi/>



43 **Análisis Energético de un sistema de refrigeración solar por absorción para la conservación de mariscos**

Julio Valle Hernández ^a, Montserrat Hernández López ^{a*}, Raúl Román Aguilar ^a, Karen Canseco Sandoval ^a

^a *Licenciatura en Ingeniería en Tecnología del Frío, Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, C.P. 43920, Chimalpa-Tlalayote, Hidalgo, México, 771 717 2000 ext. 5809, www.uaeh.edu.mx*

1. Resumen

Se estima que del 100% de la energía consumida a nivel mundial, aproximadamente un 50% es consumido por procesos de refrigeración. En un ciclo de refrigeración convencional, el compresor consume la mayor parte de la energía del sistema, energía eléctrica, que en el mayor de los casos proviene de combustibles fósiles, implicando un alto costo económico y ambiental. Debido a lo anterior, actualmente se han realizado investigaciones que promueven el uso de energías renovables aplicadas a los sistemas de refrigeración, como es la energía solar. En el presente trabajo se analiza el diseño de un sistema de refrigeración por absorción para la conservación de mariscos. Este tipo de sistemas de refrigeración se diferencian de los convencionales al sustituir la unidad compresora por un sistema de absorción, donde el resto de los componentes del ciclo trabajan de manera normal. El estudio del sistema de refrigeración se realiza mediante el análisis de los balances de masa y energía para el ciclo de refrigeración y el proceso de absorción considerando las cargas térmicas generadas en el proceso de conservación de mariscos. En los resultados del trabajo se presenta el análisis energético del proceso de refrigeración por absorción obteniéndose las eficiencias y realizando una comparativa con un sistema convencional equivalente que opere a las mismas condiciones para la preservación del producto.

Palabras clave: absorción; refrigeración solar; energía renovable; refrigeración.



2. Abstract

It is estimated that of 100% of the energy consumed worldwide, approximately 50% is consumed by refrigeration processes. In a conventional refrigeration cycle, the compressor consumes most of the system's energy, electrical energy, which in most cases comes from fossil fuels, implying a high economic and environmental cost. Due to the above, currently research has been carried out that promotes the use of renewable energies applied to refrigeration systems, such as solar energy. In the present work, the design of an absorption refrigeration system for the conservation of shellfish is analyzed. These types of refrigeration systems differ from conventional ones by replacing the compressor unit with an absorption system, where the rest of the components of the cycle work normally. The study of the refrigeration system is carried out through the analysis of the mass and energy balances for the refrigeration cycle and the absorption process, considering the thermal loads generated in the shellfish conservation process. In the results of the work, the energy analysis of the absorption refrigeration process is presented, obtaining the efficiencies, and making a comparison with an equivalent conventional system that operates under the same conditions for the preservation of the product.

Keywords: absorption; solar cooling; renewable energy; refrigeration.

1. Introducción

La industria de la refrigeración depende ampliamente del suministro de energía eléctrica, donde la mayoría de los sistemas de refrigeración son por compresión de vapor, el consumo de electricidad se debe al trabajo requerido para comprimir el refrigerante y disipar el calor al ambiente en el condensador. Para reducir este consumo de energía se han llevado a cabo diferentes investigaciones sobre sistemas de refrigeración [1], una de las nuevas alternativas en desarrollo son los sistemas de refrigeración por absorción. Su funcionamiento se basa en la capacidad que tiene una sustancia en absorber otra. En un sistema de refrigeración por absorción se sustituye la unidad compresora por tres dispositivos; un absorbedor, un generador y una bomba de recirculación, donde su operación conjunta produce el aumento de presión necesaria para el sistema. En dicho proceso se consume energía térmica en el



generador y energía eléctrica en la bomba, estos suministros de energías pueden ser generados mediante radiación solar.

Por otra parte, en México durante el año 2021 se registró una producción aproximada de 227 mil toneladas de camarón, de la cual un 78% fue en granja acuícola y un 22% en bahías. Los principales estados productores son Sinaloa con un 40.3% de la producción total anual, seguido de Sonora con el 39.7% y en tercer lugar Nayarit con 7.5% [2]. El camarón al ser un producto altamente perecedero y de amplia producción se debe mantener en refrigeración desde el momento de su obtención, por lo cual, se deben buscar alternativas que permitan realizar la refrigeración de manera eficiente y sustentable, donde un sistema de refrigeración por absorción podría ser idóneo para realizar dicha tarea.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación energética mediante un análisis termodinámico de un ciclo de refrigeración por absorción para determinar su factibilidad en la conservación de mariscos en Puerto Peñasco, Sonora.

2. Metodología

La metodología desarrollada en el presente trabajo se muestra en la figura 1, y consta de los siguientes pasos:

2.1 Elección del producto a conservar

México es uno de los principales productores de camarón a nivel mundial que para el año 2021 produjo un poco más de 227 mil toneladas métricas. Esta industria acuícola genera 1000 millones de dólares cada año. Además, México tiene el séptimo lugar en exportación hacia los Estados Unidos [4, 5].

2.2 Características del producto

En la tabla 1 se muestran las características del camarón, que permiten determinar sus condiciones óptimas de conservación.

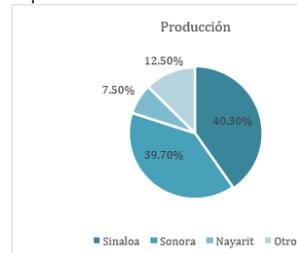
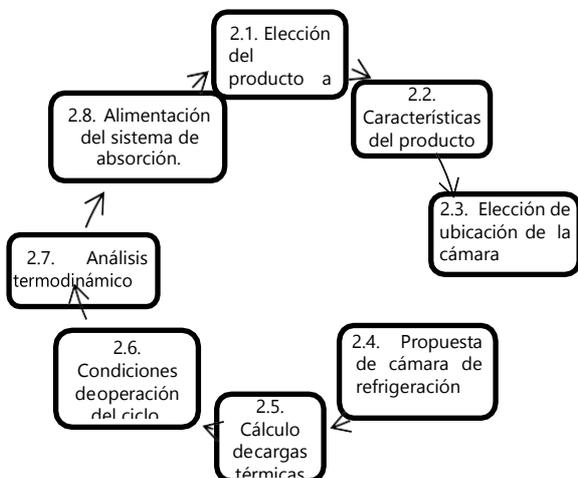




Tabla 1. Características de conservación [6]

Características							
Temperatura	Humedad relativa	Tiempo de conservación recomendado	Punto de congelación	Calor específico antes del punto de congelación	Calor específico después del punto de congelación	Calor latente	Contenido de agua (masa)
-1°C a 1°C	95%	12 a 14 días	-2.2°C	0.81Kcal/Kg °C	0.43Kcal/Kg °C	61Kcal/Kg	83 %

2.3. Elección de ubicación de la cámara

En la figura 2 se muestra la producción anual de camarón para el año 2021 en México. La cámara se propuso para Puerto Peñasco, ya que, aunque se encuentra en Sonora, segundo estado con mayor producción de camarón en México, el lugar está sometido a constante inspección por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA) para cumplir con la conservación y manejo los recursos costeros y marinos [5]. En la tabla 2 se observan las condiciones climáticas de Puerto Peñasco.

Tabla 2. Condiciones climáticas [7, 8, 9]

Puerto Peñasco, Sonora				
Altitud	Humedad relativa	Temperatura máxima exterior	Velocidad exterior del aire	Coordenadas geográficas
13 m	56%	34.42°C	13.72 km/h	Latitud: 31.3181, Longitud: -113.537, 31° 19' 5" Norte, 113° 32' 13" Oeste

2.4 Propuesta de cámara de refrigeración

Se propone una cámara capaz de almacenar 9,300 kilogramos de camarón, en la tabla 3 se presentan los parámetros de diseño de dicha cámara considerando una temperatura interior de - 4 °C y una velocidad de aire de 5 m/seg.

Tabla 3. Dimensionamiento y materiales de construcción de la cámara [10, 11]

Dimensiones de la cámara				Materiales	Conductividad Térmica	Espesor
Ancho	6m	Puerta		Espuma de poliuretano	0.028 W/m K	0.15 m
Profundidad	10.5m	ancho	0.9 m	Concreto (ladrillo)	0.6 W/m K	0.15m
Altura	3m	largo	2.5 m	Mortero de cemento	0.6 - 1.4 W/m K	0.05m
				Lámina de aluminio	205 W/m K	0.3mm



2.5. Cálculo de cargas térmicas

Se realizó el cálculo de cargas térmicas para determinar la cantidad de calor que debe ser removido del sistema tomando en cuenta el calor retirado al producto, así como las cargas externas que afectan el sistema.

2.5.1. Carga térmica generada por transmisión a través de paredes

La carga térmica por transmisión a través de paredes se calcula por la expresión general: $Q = A * U * \Delta T$ (1)

Donde A es el área de exposición y U el coeficiente global de transferencia de calor que se obtiene como: $U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\epsilon_1}{k_1} + \frac{\epsilon_2}{k_2} + \dots + \frac{\epsilon_n}{k_n} + \frac{1}{h_2}}$ (2)

2.5.2. Carga térmica por alumbrado

El alumbrado en el interior de la cámara transforma la energía eléctrica que recibe, para su operación, en calor. El cual se disipa en el interior del espacio que se desea refrigerar, la carga térmica asociada al alumbrado se calcula como:

$$Q_{\text{alumbrado}} = (n^\circ \cdot \text{lámparas}) (\text{watts lámpara}) \quad (3)$$

2.5.3. Carga térmica generada por producto

Esta carga térmica está dada por el calor sensible:

$$Q_{\text{sensible}} = m * C_p * \Delta T \quad (4)$$

Donde m es la masa del producto, Cp el calor específico antes del punto de congelación y

ΔT es la diferencia de temperatura inicial y final del producto.

2.5.4. Carga térmica generada por infiltración

Esta carga térmica es ocasionada en el momento de la apertura de las puertas que comunican con el exterior, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{infiltrado}} = Q_{\text{ext}} - Q_{\text{int}} \quad (5)$$



Donde Q_{ext} es el calor al exterior de la cámara y Q_{int} es el calor en el interior de la cámara, estos se obtiene como:

$$Q_{int,ext} = V_{infiltrado} / V_{int,ext} * H_{int,ext} \quad (6)$$

Donde $V_{infiltrado}$ es el volumen de aire infiltrado, $V_{int,ext}$ y $H_{int,ext}$ son el volumen específico y la entalpía del aire en la cámara a la temperatura interior y exterior, respectivamente.



EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE SECADO DIRECTO Y MIXTO EN LAS CINÉTICAS Y COLORIMETRÍA DEL EDAMAME

Beatriz Melissa A. Castillo¹, Beatriz Castillo-Téllez^{2*}, Margarita Castillo Téllez³,
Alfredo Domínguez-Niño⁴, Erick Cesar López Vidaña⁵

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional

²Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara

³Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche

⁴Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México

⁵Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Unidad Durango

*Beatriz Castillo-Téllez: beatriz.castillo@academicos.udg.com

Resumen

El Edamame es un alimento con valioso contenido nutrimental, especialmente por su alto contenido en proteínas y vitaminas. Dado el vertiginoso estilo de vida actual, los alimentos deshidratados se han convertido en una opción muy importante para obtener los aportes nutrimentales necesarios. En este estudio se reporta el secado del Edamame en un secador solar mixto y en un secador solar directo tipo gabinete. Como parámetro de calidad se obtuvieron los datos colorimétricos y actividad del agua inicial y final. Los resultados experimentales muestran que el contenido de humedad se estabilizó de manera más rápida en el secador solar mixto, con un tiempo de 6 horas, la velocidad de secado máxima alcanzada para esta tecnología fue de 0.0109 kg agua/kg ss min con un contenido de humedad final de .6369 g agua/g ss. El cambio total de color fue mejor en el secador Mixto con un valor de 11.29 ΔE . El modelo que mejor se ajustó a los resultados experimentales en el secador directo tipo gabinete fue el Weibull con R^2 de 0.9947 y para el secador mixto el modelo que mejor se ajustó fue Weibull con R^2 de 0.9988. El secado solar es una tecnología factible para conservar el Edamame, que además ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, puede contribuir a reducir el desperdicio de alimentos y aporta importantes nutrientes a la dieta diaria de las personas.



Palabras clave: Edamame, secado solar, modelos de secado, secador solar directo, secador solar mixto.

Introducción

El Edamame es el frijol inmaduro de la soya (*Glycine max* (L.) Merrill), cosechada a medida que alcanza aproximadamente 80% de su madurez, es decir, una vez pasados 90-100 días desde la siembra. Tiene un color verde amarillento y difiere en color al de las semillas de soya maduras, que suelen ser marrón claro [1].

Hoy en día, la mayoría de las personas han escuchado nombrar al Edamame, especialmente en Asia del Este, donde es conocido por aportar gran cantidad de nutrientes y generar efectos medicinales en el ser humano. Es rico en proteínas, grasas, fósforo, calcio, hierro, vitaminas y fibra alimentaria, así mismo, se han hecho estudios sobre el potencial que tiene para la prevención y supresión de diversos tipos de cánceres por su alto contenido de isoflavonas, que actúan como anticancerígenos y antioxidantes. Entre otros beneficios que aporta el edamame es inhibir la actividad de la tirosinasa [2], [3], que causa las manchas cutáneas que aparecen en la piel con el paso del tiempo; repercute positivamente en la salud ósea y dental, reduce los riesgos por padecer accidentes cardiovasculares, disminuye el colesterol en la sangre y carece de gluten y azúcares que son perjudiciales para la salud del ser humano [4].

El Edamame se consume principalmente como refrigerio, pero también como verdura, complemento de las sopas o procesado en dulces. Sin embargo, al ser un alimento que contiene mucha agua, esta estimula rápidamente el crecimiento y proliferación de microorganismos que resultan en la descomposición del mismo, por lo que su tiempo de vida en anaquel es de apenas unos pocos días. Datos de la FAO indican que se desperdicia un porcentaje mayor al 20% del total cosechado de los cereales y legumbres, que representa a casi 50% de las pérdidas del total de alimentos, generando la mayor contribución de emisiones de gases de efecto invernadero y desperdicio de agua por tonelada de desechos (60% y 72% respectivamente) [5].

Paulatinamente, el hambre y la malnutrición son el principal riesgo de salud a nivel mundial, alrededor de 135 millones de personas padecen hambre severa y debido a la pandemia de COVID-19 podría duplicar esta cifra y sumar 130 millones de personas más a finales de 2020 [6]. Así mismo, junto con la hambruna, se ve relacionada la mala alimentación de los seres humanos. En las últimas evaluaciones del 2018 cerca de 821 millones de personas en el mundo sufrían malnutrición, es decir, 1 de cada 10 seres humanos [7] y para el 2019 el número de personas que sufren hambre en el mundo llegó a 690 millones (diez millones más que en 2018) de los cuales 47,7 millones son solo de América Latina y el Caribe, y podría haber 67 millones de personas con hambre para 2030, del mismo modo, 205 millones de personas viven en condiciones de inseguridad alimentaria



moderada, es decir, con incertidumbre sobre su capacidad de obtener alimentos, lo que los lleva a reducir la cantidad o calidad de la comida que consumen [8].

Dado el estilo de vida actual, la creciente demanda del mercado de Edamame a nivel mundial y su rápida descomposición, se han buscado medidas para alargar el tiempo de vida de anaquel de este. De las principales propuestas para conservar el Edamame utilizando diferentes métodos son: a) La congelación por hidrofluidización, método donde se usan soluciones acuosas concentradas a baja temperatura como medio refrigerante bombeándolo en dirección ascendente a través de agujeros en el recipiente de refrigeración para generar chorros de líquido que conservan la agitación del refrigerante que crea altos coeficientes de transferencia superficiales [9], [10]. b) Escaldado en bolsas de malla en agua caliente (a 100°C) combinado con almacenamiento en condiciones de refrigeración (4°C) o congelado (-20°C) [11]. c) Secado por congelación o liofilización combinado con el blanqueo con vapor del edamame fresco [12].

Ahora bien, la deshidratación es un método eficiente que eliminaría el agua por evaporación de la mayor parte del producto. La reducción del contenido de humedad inhibe y/o disminuye la actividad microbiana y enzimática, siendo ventajoso para la conservación a largo plazo. Existen escasos trabajos que hablan sobre la conservación del Edamame utilizando métodos de deshidratado, como en el documento [13] se investigó el secado por microondas, al vacío por microondas con chorro de pulso, por infrarrojos al vacío y el secado por aire caliente para determinar la microestructura, color, textura y sabor del edamame; mientras que en [14] realizaron experimentos de secado por microondas al vacío (VMW) en un lecho profundo para investigar y comparar en términos de velocidad de secado, contenido de humedad final y calidad de los productos secos entre las diferentes alturas de edamame en un lecho profundo. Sin embargo, en los mencionados anteriormente, se utilizan tecnologías convencionales, utilizando un alto consumo de energía y con ello, generando altos costos por su uso.

A pesar de existir gran cantidad de información sobre la congelación del edamame utilizando diversos métodos, la información relacionada al secado o deshidratado es escasa y en algunos casos, como en el secado utilizando energía solar, es nulo. El Edamame deshidratado es una opción práctica que puede contribuir a una mejor nutrición que mejore la salud de las personas.

Metodología

Materia prima

La experimentación se llevó a cabo en la ciudad de Xochitepec, Morelos, las instalaciones de la empresa Módulo Solar. La temperatura máxima alcanzada fue de 30 °C y la irradiancia máxima fue de 1000 W/m². Se seleccionaron frijoles



inmaduros de Soya (*Glycine max* (L.) Merr.), que se cultiva en el norte de China, cerca de la frontera con Rusia. Las vainas se separaron de los frijoles de Edamame para obtener un grupo homogéneo, en función del tamaño y color. Se lavaron y pesaron. En cuanto al peso de cada frijol varió entre .95 a 1.00 gramo. El peso de las muestras al inicio del experimento fue de 20 g de Edamame para ambas tecnologías

Métodos

En este trabajo, el proceso de secado del Edamame se realizó de manera experimental utilizando un secador de gabinete y un secador solar tipo mixto.

El secador solar mixto (Figura 1), consta de tres partes principales: 1) Un colector solar plano que calienta el aire por convección natural, 2) Una cámara de secado de 0.038 m³ con 8 bandejas perforadas situadas en 4 niveles verticales, de área total de secado de 0.52 m², las cuales permiten el paso de la radiación solar a través de una cubierta de policarbonato transparente. Sus paredes laterales están aisladas con una placa de poliisocianurato de 1,27 m de espesor. 3) Una chimenea donde pueda salir el aire húmedo proveniente de la cámara de secado [15].

El secador solar directo tipo gabinete (Figura 2), consta de: una cámara de secado de 44 litros con medidas de 35x64x26 cm con cubierta de policarbonato transparente, 2 charolas de aluminio con .30 m² de área total de secado, sensores de humedad (%) y temperatura (°C) y dentro de la cámara de secado se colocó una bandeja perforada con un área de 0.0468 m². La transferencia de calor fue



Figura 13 Secador solar mixto



Figura 13 Secador solar directo tipo gabinete

por convección natural.



Instrumentación

Parámetros de operación

- *Humedad*: Para determinar la humedad de los frijoles de Edamame se utilizaron dos analizadores de humedad, Sartorius MA 45 y Ohaus MB45, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg. Se colocó la muestra de aproximadamente 1 gramo en el analizador. Este procedimiento se realizó antes de iniciar y al finalizar el secado.
- *Actividad del agua (aw)*: La actividad del agua es el parámetro que determina la estabilidad del alimento con respecto a la humedad ambiental y se midió el Edamame fresco y seco, antes y después del proceso de secado. Se utilizó un equipo portátil, Rotronic HygroPalm, con una precisión de $\pm 0.01\%$ mg. Se informó una media de tres mediciones a temperatura ambiente de $26.5 \pm 1^\circ\text{C}$.
- *Temperatura*: Se midió mediante termopar tipo K, previamente calibrado utilizando un calibrador de temperatura Ameter Jofra Instruments, modelo D55SE, en un rango de 10°C a -12°C y precisión de $\pm 0.04^\circ\text{C}$.
- *Peso*: Las medidas de peso fueron determinadas por el modelo de balanza Adventure de Ohaus con una precisión de $\pm 0,001$ gramos.
- *Colorimetría*: Se utilizó un colorímetro modelo PCE-CSM 5 con dos aperturas de medición de 4 y 8 mm de diámetro previamente calibrado para el control de calidad de alta precisión utilizando el espacio de color de CIELAB.

Los modelos aplicados en este estudio se muestran en la Tabla 1. La relación de humedad MR es una función del tiempo de secado y se calcula como (Toğrul & Pehlivan, 2004):

$$MR = \frac{M_c - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Donde M_c es el contenido de humedad, M_e es la humedad de equilibrio y M_0 es la humedad inicial.

Tabla 19 Modelos de capa delgada aplicados a las cinéticas de secado

Nombre	Modelo	Referencia
Newton	$MR = \exp(-kt)$	[16]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[17]
Page Modificado	$MR = \exp(-(kt)^n)$	[18]
Henderson y Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[19]
Logarítmico	$MR = a \exp(-kt) + c$	[20]
Wang y Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[21]
Weibull	$MR = \exp(-t/\beta)^\alpha$	[22]

Resultados y discusión

El contenido inicial de humedad del 70 % y actividad del agua (a_w) de 0.95. Al final del secado, la actividad del agua disminuyó a 0.35. La máxima temperatura y humedad ambiente en los días de experimentación alcanzaron 37 °C y 70% respectivamente. El secador solar directo alcanzó una temperatura de 59 °C dentro de la cámara de secado, mientras que el secador solar mixto de 78 °C y humedades de 14% y 17% respectivamente.

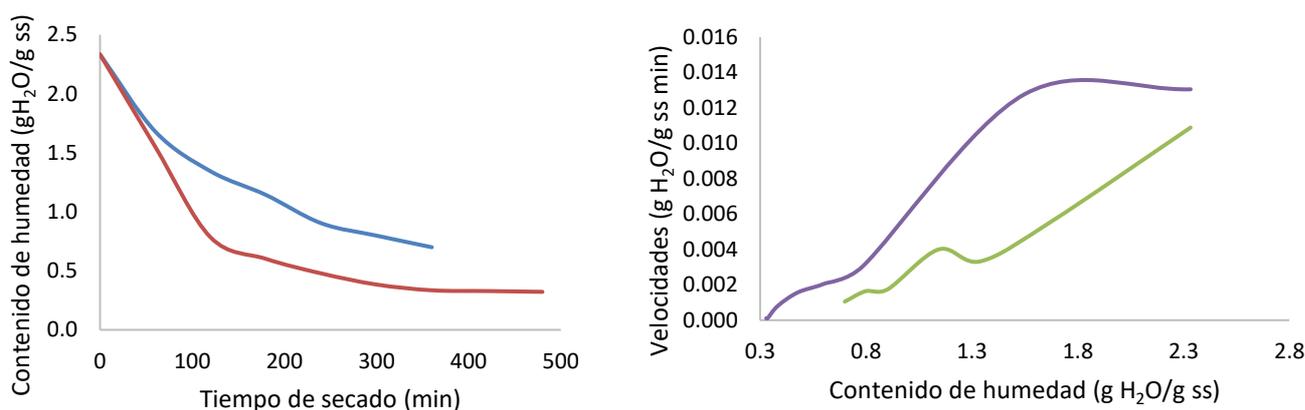


Figura 14 Contenidos de humedad en ambas tecnologías y b) Velocidades de secado del edamame, con ambas tecnologías

En la Figura 3 a) puede observarse la pérdida del contenido de humedad del edamame durante las cinéticas de secado. Las gráficas evidencian que el secador solar mixto minimiza el tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio, comparado con el secador solar directo. Los tiempos de secado fueron de 380 min en el secador mixto y 490 en el secador solar directo. Esto se debe a las mayores temperaturas y menor húmedas dentro de la cámara de secado del secador.

Las velocidades de secado mostradas en la Figura 3 b) no muestran periodos de velocidad constante en secador solar directo, mientras que, en el secador solar mixto, puede observarse un aumento en la velocidad hacia el final de la cinética.

Tabla 20 Coeficientes y parámetros de ajuste de los datos experimentales a los modelos de secado

Secador solar directo			Secador solar mixto		
Weibull	a	1.20E-02	Henderson y Pabis	a	1.63932261
	b	-1.30834268		k	0.49212953
	k	0.27464998		R ²	0.9921
	n	1.5965		RMSE	0.02917962
	R ²	0.9947		X ²	0.00119203



Secador solar directo			Secador solar mixto		
Logarítmico	RMSE	0.0236	Weibull	a	-0.97691788
	X ²	0.00100701		b	-8.50773921
	a	1.90795838		k	1.46017442
	c	-1.76E-02		n	0.20354275
	k	0.61105845		R ²	0.9988
	R ²	0.9913		RMSE	0.01152226
Henderson y Pabis	RMSE	0.03043149	Logarítmico	X ²	0.00030978
	X ²	0.00138911		a	1.60193696
	a	1.94299279		c	-8.40E-02
	k	0.64279904		k	0.40264058
	R ²	0.9904		R ²	0.9965
	RMSE	0.03200277		RMSE	0.0193172
X ²	0.0013168	X ²	0.00065302		

La Tabla 2 muestra los datos de ajuste a los diferentes modelos de capa delgada aplicados a alimentos. El Modelo Weibull fue el que se ajustó de mejor manera a los datos experimentales, por lo que este modelo puede utilizarse para diseño y dimensionamiento de secadores o para predecir el secado de edamame.

La Figura 4 muestra que las cinéticas se ajustan con gran precisión a los modelos analizados. Se ilustran los mejores tres modelos y para todos los casos el R² > 0.99.

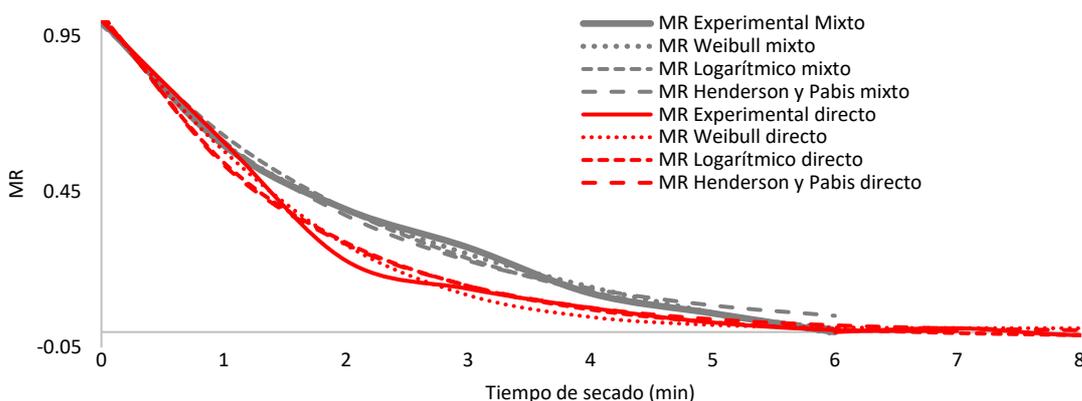


Figura 15 Gráficas de ajuste de secado de ambas tecnologías

LAB	Fresco	Directo	Mixto
L*	40.04	50.69	48.9
a*	-4.65	1.43	2.36
b*	19.33	23.5	19.11

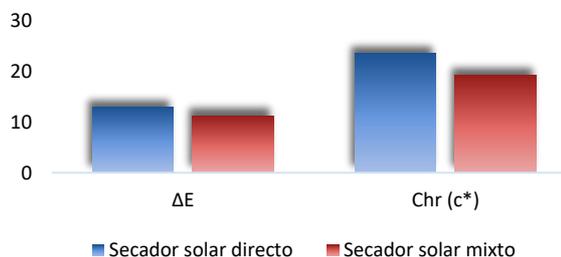




Figura 16 Delta E y Croma resultante en ambas tecnologías

Como se observa en la Figura 5, el delta E es muy similar en ambos casos, los dos tienen valores muy cercanos a los aceptados comercialmente. El croma, que representa la intensidad o saturación de color, es mayor en el secador de gabinete.

Por lo tanto, el secador solar mixto conserva mejor el color del edamame, esto se debe a que, en el secador solar directo, la exposición prolongada a los rayos solares disminuye la calidad del producto.

CONCLUSIONES

Se analizaron las cinéticas, colorimetría y modelos que mejor se ajustaron durante el secado del edamame, siendo el secador solar mixto la tecnología que mejores datos proporcionó, presentando mejores tiempos de secado y menor cambio total de color. Además, el modelo Weibull se ajustó mejor a las cinéticas de secado, por lo que este modelo puede utilizarse para el diseño y dimensionamiento de secadores solares para el secado de edamame.

Bibliografía

- [1] W. R. Fehr and C. E. Caviness, "'Stages of soybean development' (1977). Special Report. 80.," pp. 1–12, 1977, [Online]. Available: <http://lib.dr.iastate.edu/specialreports/87>.
- [2] L. Coward, N. C. Barnes, K. D. R. Setchell, and S. Barnes, "Genistein, Daidzein, and Their β -Glycoside Conjugates: Antitumor Isoflavones in Soybean Foods from American and Asian Diets," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 41, no. 11, pp. 1961–1967, 1993, doi: 10.1021/jf00035a027.
- [3] A. H. Simonne, M. Smith, D. B. Weaver, T. Vail, S. Barnes, and C. I. Wei, "Retention and changes of soy isoflavones and carotenoids in immature soybean seeds (edamame) during processing," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 48, no. 12, pp. 6061–6069, 2000, doi: 10.1021/jf000247f.
- [4] S. R. Mentreddy, A. I. Mohamed, N. Joshee, and A. K. Yadav, "Edamame : A nutritious vegetable Crop," in *Trends in new crops and new uses*, no. January 2002, 2002, pp. 432–438.
- [5] ONU and FAO, *El estado Mundial de la agricultura y la alimentación*. United States of America, 2019.



- [6] ONU and FAO, "Hambre y seguridad alimentaria – Desarrollo Sostenible," 2020. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/> (accessed Oct. 20, 2020).
- [7] ONU, "Alimentación," 2020. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/food/index.html> (accessed Oct. 20, 2020).
- [8] ONU, "Cerca de 50 millones de personas sufren hambre en América Latina y el Caribe," 2020. <https://news.un.org/es/story/2020/07/1477361> (accessed Oct. 20, 2020).
- [9] Juan Manuel Peralta, *Congelación de Alimentos por Hidrofluidización*. 2009.
- [10] A. Fatahillah, S. Setiawani, and R. Damayanti, "Mathematical model analysis of fluid flow in edamame hydrofluidization using finite element method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1211, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1211/1/012021.
- [11] L. ChunQuan, Z. ChengLong, L. DaJing, W. HaiHong, Z. DanYu, and L. ChunJu, "Effect of freezing and thawing methods on quality of edamame.," *Jiangsu J. Agric. Sci.*, vol. 28, no. 1, pp. 176–180, 2012, [Online]. Available: <http://www.jaas.ac.cn>.
- [12] I. Kamila, J. N. W. Karyadi, and A. D. Saputro, "Drying characteristics of Edamame (*Glycine max*. L. Merrill) during freeze drying," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 355, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/355/1/012048.
- [13] H. Qing-guo, Z. Min, A. Mujumdar, D. Wei-hua, and S. Jin-cai, "Effects of different drying methods on the quality changes of granular edamame," *Dry. Technol.*, vol. 24, no. 8, pp. 1025–1032, 2006, doi: 10.1080/07373930600776217.
- [14] Q. G. Hu, M. Zhang, A. S. Mujumdar, G. N. Xiao, and J. C. Sun, "Performance evaluation of vacuum microwave drying of edamame in deep-bed drying.," *Dry. Technol.*, vol. 25, no. 4, pp. 731–736, 2007, doi: 10.1080/07373930701291199.
- [15] E. C. López-vidaña, A. L. César-Munguía, O. García-Valladares, I. Pilatowsky Figueroa, and R. Brito Orosco, "Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*)," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 845–855, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.09.018.
- [16] Q. Liu and F. W. Bakker-Arkema, "Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 66, no. 4, pp. 275–280, 1997, doi: 10.1006/jaer.1996.0145.



- [17] G. E. Page, "Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. Thesis," Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 1949.
- [18] G. M. White, I. J. Ross, and C. G. Poneleit, "Fully-exposed drying of popcorn," *Eur. Phys. Educ. Rev.*, vol. 24, no. 2, pp. 466–468, 475, 1981, doi: <http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>.
- [19] S. M. Henderson and S. Pabis, "Grain drying theory II: Temperature effects on drying coefficients," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 169–174, 1961.
- [20] H. Toğrul, "Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices," *J. Food Eng.*, vol. 71, no. 3, pp. 311–323, 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.031.
- [21] C. Y. Wang and R. P. Singh, "A single layer drying equation for rough rice," *Am. Soc. Agric. Eng.*, no. 78, p. 3001, 1978, doi: 10.1081/E-EEE2-120046011.
- [22] D. A. Tzempelikos, A. P. Vouros, A. V. Bardakas, A. E. Filios, and D. P. Margaris, "Experimental study on convective drying of quince slices and evaluation of thin-layer drying models," *Eng. Agric. Environ. Food*, vol. 8, no. 3, pp. 169–177, 2015, doi: 10.1016/j.eaef.2014.12.002.



SECADOR SOLAR CON VACÍO

Joel A. Salazar Pérez^a, Raúl Quiroz Martínez, Félix J. Reyes Vázquez, Juan C.

Gutiérrez Villegasa y Beatriz Castillo Téllez

^a Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara, Colotlán Jalisco, México

*Estudiante Ingeniería Mecánica Eléctrica, CUNorte, email: jasp493@gmail.com

Resumen

El secado solar permite conservar los alimentos con muchas de sus propiedades nutricionales y físicas, evitando también su descomposición. Desafortunadamente, el proceso de secado, para algunos alimentos, requiere varios días para lograr un contenido de humedad de equilibrio. Una técnica que podría acelerar el proceso es el secado al vacío. En este procedimiento, el aire en el secador se evacua al medio ambiente, lo que reduce la presión en el interior, reduciendo así la temperatura de ebullición del líquido y por lo tanto el tiempo del proceso. Además, esta técnica puede lograr la deshidratación de alimentos que a altas temperaturas se pueden degradar o modificar características deseables. Además, el vacío facilita la evacuación de los gases que dificultan la transferencia de calor y los gases químicamente activos que pueden oxidar el material a secar. En este trabajo se presenta las simulaciones mecánicas que llevaron al diseño final un secador tipo gabinete de acrílico de 3mm con dimensiones de 25 cm de alto, 38 cm de largo y 20 cm de ancho, con un soporte medio para que resista la presión de vacío de 30kPa. Además, se presenta una comparación del secado de orégano por una hora en secador solar acoplado al vacío, con un secador de gabinete convencional y en un horno eléctrico; concluyendo que en el mismo tiempo el secado al vacío es el que reduce más la humedad del producto.

Palabras clave: palabra; secado solar, secado al vacío.

Introducción

Deshidratación o secado se define como “la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua normalmente presente en los alimentos mediante evaporación”. El deshidratado de alimentos es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos basados en inhibir el



crecimiento microbiano y la actividad enzimática [1]. Entre las múltiples aplicaciones del secado se pueden enunciar: el almacenaje seguro de materiales, mejora y conserva de la calidad de los productos alimenticios, preserva las propiedades de los materiales, y reduce los costos de transportación [2]. El secado solar directo es una técnica ampliamente utilizada, en este proceso la radiación directa es absorbida por el propio producto, resultando en un uso más eficaz de la energía para evaporar el agua [3]. Dado que el secado se realiza a presión atmosférica las temperaturas de secado con frecuencia son mayores a 100°C; sin embargo, existen alimentos que requieren secarse a temperaturas menores para evitar degradar el material o afectar algunas propiedades nutrimentales y/o nutraceuticas [2]. En el secado al vacío el aire de la cámara de secado se evacúa hacia el ambiente lo que reduce la presión. Al trabajar con vacío la temperatura de ebullición de un líquido se reduce, lo que reduce el tiempo de procesos y desfavorece las reacciones químicas entre el material y la atmósfera; además con el vacío se facilita el recorrido de las partículas evaporadas, se eliminan gases que dificultan la transferencia de calor y que pueden oxidar la materia a secar [4]. En busca de optimizar el diseño del prototipo se utilizó en el diseño asistido por computadora para realizar las simulaciones mecánicas y verificar que se cumplan los requerimientos. El presente trabajo reporta el diseño y la construcción de un secador solar acoplado con vacío. Además, se comparó el proceso de secado por una hora en el secador acoplado al vacío (21.5kPa), con un secador convencional tipo gabinete y en un horno eléctrico, siendo el prototipo con vacío el más redujo la humedad.

Metodología

Diseño de prototipo de secador solar con vacío.

Para este proyecto se planteó construir un secador solar tipo gabinete con acrílico de 3mm de grosor, con dimensiones de 20 cm de ancho, 28 cm de largo y 25 cm de alto (parte posterior). Se realizó el diseño asistido por computadora en el programa SolidWorks® como se muestra en la figura 1(a). Con el fin de comprobar la resistencia a la presión de vacío se utilizó una herramienta del programa de diseño para simular las fuerzas que actuarían en el secador. El resultado de la simulación se muestra en la figura 1(b).

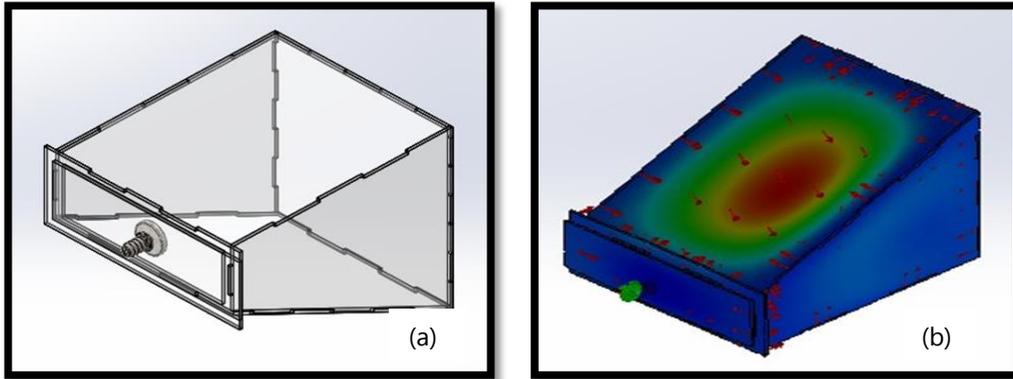


Figura 1. Prototipo I de Secador solar con vacío (a) Diseño; (b) Simulación

La simulación indicó que con este diseño el secador fallaría en la parte superior (zona roja) a una presión de 3.2kPa. Debido a que esta presión era insuficiente para los propósitos del proyecto se planteó agregar una columna de soporte a lo largo del secador, creando así el diseño prototipo II que se muestra en la figura 2(a) y se realizó la simulación mecánica que se muestra en la figura 2(b).

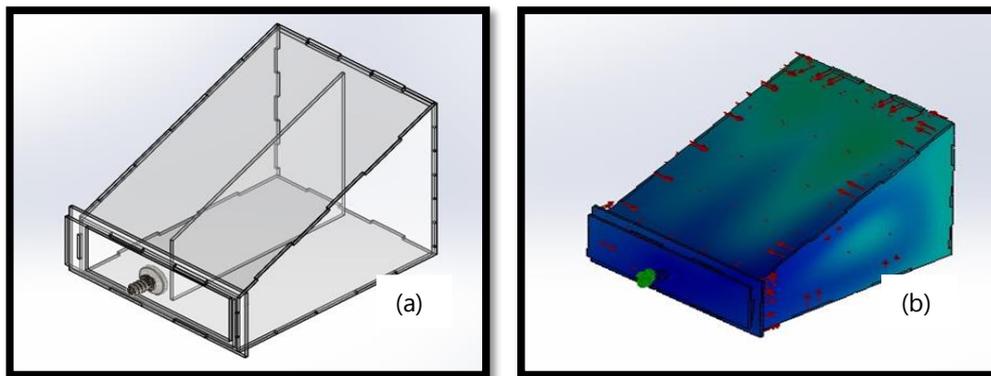


Figura 2. Prototipo II de Secador solar con vacío (a) Diseño; (b) Simulación

La simulación del prototipo II mostro que el secador resistirá una presión de vacío de 30kPa sin deformarse o romperse.

Construcción del secador solar con vacío.

Se construyó el prototipo II (figura 3). Las piezas se manufacturaron con cortadora láser. El diseño se planteó con dos tapas frontales, una para que funcionara como secador convencional tipo gabinete y la otra con una perforación para colocar una boquilla de 1/4" para poder acoplar una bomba de vacío. El ensamble se reforzó con pegamento fundente para acrílico.



Figura 3. Construcción de Prototipo II de Secador solar con vacío.

Pruebas de secado.

Se calculo la humedad base seca del orégano en un 52.58%. Para las pruebas de sacado se pesaron 20g de orégano y se sometieron por una hora a tres diferentes tipos de secado:

- (1) Secado solar acoplado a vacío. Con una bomba de vacío BUCHI® V-100 Vacuum Pump a una presión de 21.5kPa.
- (2) Secado solar el gabinete convencional
- (3) Secado es estufa eléctrica SHEL LAB® SMO14-2

Para la medición de irradiancia se utilizó la estación meteorológica Davis Instrument® modelo Vantage Pro Inalámbrica.

Resultados y Conclusiones.

Los resultados se de los 3 tipos de secado se muestran en la tabla 1

Tipo de Secado	Tiempo de Secado (min)	Presión de Vacío (kPa)	Consumo Eléctrico (W)	Irradiancia (Wm^{-2})	% de humedad
Secador solar con vacío	60	21.5	70	657-468	65.0
Sacador solar tipo gabinete	60	---	---	657-459	87.6



Horno Eléctrico	60	---	997	---	80.5
-----------------	----	-----	-----	-----	------

Tabla 1. Condiciones de secado y % humedad obtenida.

Como se muestra en la tabla el secado solar con vacío es más eficiente que el secado solar convencional y el secado con horno eléctrico. Aunque la bomba para vacío requiere consumo eléctrico para su funcionamiento, éste es menor que el del horno eléctrico. Estas pruebas preliminares muestran que el secado con vacío es una buena opción para acelerar el proceso de secado.

Referencias

- [1] J. E. S., «Innovación en el deshidratado solar,» Mayo 2016.
- [2] L. C. L. Martines López E., «Desarrollo de un sistema de secado al vacío para medición de contenido de humedad,» 2014.
- [3] A. G. Finck-Pastrana, «NOPAL (*Opuntia Lasiantha*) DRYING USING AN INDIRECT SOLAR DRYER,» *Energy Procedia*, vol. 57, p. 2984 – 2993 , 2014.
- [4] C. V. A., «El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partícul,» 2004.

MODELACIÓN TÉRMICO ECONÓMICO PARA ESTIMAR LA EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA TERMOSOLAR APLICADO A UN INVERNADERO.

José Eduardo Hernández Padilla^a

^a*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Calle Cerro de Coatepec, Paseo Universidad s/n, Universitaria, 50130 Toluca de Lerdo, Méx. México*

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jhernandezp410@alumno.uaemex.mx)

Resumen

Existe incertidumbre en algunos productores sobre la elección acertada del tipo de invernadero para ciertas condiciones climáticas, la orientación y el diseño



adecuado de los sistemas de ventilación y calefacción, al momento de implantar un proyecto agrícola. Esto en algunos casos tiene como consecuencia bajas eficiencias en la producción y una inversión de alto riesgo en el mantenimiento de un invernadero. En la Agroindustria el aprovisionamiento de energía térmica dentro de un invernadero mayoritariamente se provee de la quema de combustibles fósiles como el diésel, gasolinas y gas LP. Lo cual incide de forma significativa en los costos finales de los productos, debido a que los combustibles tradicionales tienen un costo variable y su uso causa emisiones de dióxido de carbono.

El presente proyecto se presenta el análisis térmico por simulación de un invernadero existente en el Edo. de Méx. mediante la plataforma computacional TRNSYS, para el dimensionamiento de un sistema de calefacción termosolar que satisfice las necesidades climáticas internas de la estructura. Se esquematizan las características constructivas del invernadero y su situación geográfica, así como las características térmicas mínimas para un cultivo, se representa el comportamiento térmico estimado del invernadero en un escenario que cuenta con 60 % de irradiación solar mínima, se hace una propuesta del equipamiento requerido para la climatización del invernadero, considerando sus características físicas actuales y su localización geográfica. Al final se estima la proyección financiera de los equipos de calentamiento.

Palabras clave: invernadero; térmico; agrícola; solar; calefacción.

Objetivo

Evaluar el desempeño térmico económico de un dispositivo solar para la generación de agua caliente utilizada para la calefacción de un invernadero en condiciones climáticas específicas, apartir de variables térmicas y económicas, analizar el uso de cada una de estas tecnologías y su impacto en invernaderos. Utilizando programas de simulación térmica como lo es TRNSYS para evaluar el comportamiento, consumos y perdidas térmicas, Sketchup8 para caracterizar el invernadero en estudio.

Metodología

Para estimar la configuración de un calefactor termosolar y la temperatura generada en estado transitorio al sistema. Los indicadores seleccionados se modelaron en TRNSYS, el concentrador termosolar type 54, aplicado a la estructura type 56 que simula el invernadero de estudio y comparados con el sistema de calefacción actual. Se realizaron simulaciones y experimentos encaminados a comparar la eficiencia térmica de un sistema solar.



Problemática

En el invernadero el aprovisionamiento extra de energía térmica se provee apartir de la quema de gas natural. Lo cual incide de forma significativa en los costos finales de los productos, debido a que los combustibles tradicionales tienen un costo variable y su uso causa emisiones de dióxido de carbono de aproximadamente de 61.46 kg de CO_2 por mmBtu. El sistema de calefacción termosolar debe cumplir con los requerimientos de temperatura.

- Temperatura: 18°C – 28°C

Características del invernadero

Localización geográfica

Como caso de estudio, un invernadero ubicado en Jocotitlán, Estado de México sobre la carretera Toluca-Palmillas, tramo correspondiente a la ruta 55D. Cuenta con una radiación solar promedio de 5,5 kWh durante casi todo el año, una temperatura mínima promedio de 9 °C y una máxima promedio de 23°C



Figura 17 Localización del municipio de Jocotitlán. [4]

Tipo y características del Invernadero

El invernadero en estudio es un invernáculo tipo asimétrico, tiene una altura de pilar de 6,90 m Una altura debajo canal de 5 m, la estructura se extiende 100 metros de largo y 96 m de ancho, contiene 10 módulos distribuidos en toda esta extensión, cuenta con un volumen aproximado de 100,000 m³. El envoltente de doble pared este hecho de Coextrusión (PE-EVA-PE) de espesor (0,20 mm) y una densidad de 1,5.



Figura 18 Tipo de invernadero utilizado.



Calefacción, control climático actual

Actualmente el invernadero cuenta con 5 quemadores internos de gas con una potencia calorífica de 120 kW y un consumo de gas de 9,5 kg/h cada uno, y ventilación natural que se induce abriendo las ventanas cenitales que se encuentran en la parte superior de la estructura y las paredes laterales pueden desplegarse hacia arriba.

Sistema de Calefacción propuesto

En la figura 3 se muestran los componentes principales del sistema de calefacción termosolar propuesto. Para el volumen de almacenamiento térmico se fijó una relación de 50 litros por cada metro cuadrado de área de colección. cuenta con dos entradas y dos salidas de agua, bombas de velocidad constante para alimentar de agua a los diferentes dispositivos, un intercambiador de calor, divisores y mezcladores, se propone una serie de colectores solares capaces de generar agua caliente entre 45-65 °C.

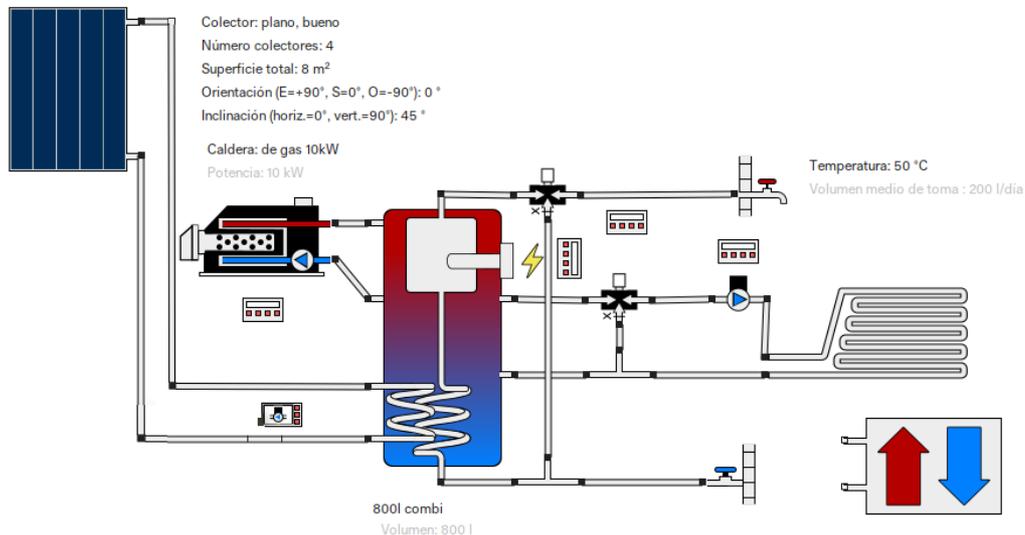


Figura 19 Esquema del sistema de calefacción termosolar para invernadero.

Modelación TRNSYS



Sistema de Calefacción propuesto

Para modelar la estructura dentro del software se eligió el Type 56 TRNBuild. Este componente simula la evolución del comportamiento térmico de un edificio y la energía que éste requiere para climatizarlo en todo el año, para el diseño de la estructura se contempla el paquete SketchUp creando una figura constructiva con área térmica para transportarlo al Type 56 y analizar el balance energético en cada sección de la superficie.

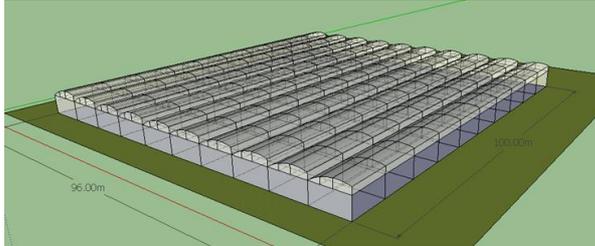


Figura 20 Caracterización del invernadero de estudio realizado en Sketchup

a la ubicación del recinto, son generados por el software TRNSYS y SKETCHUP, vincula al diseño los datos climatológicos seleccionados. Este modelo cuenta con la aplicación de obtener datos en intervalos regulares de tiempo a partir de los datos externos e interpola los registros y datos en los componentes para la simulación de su comportamiento.

Balance Energético del Invernadero

Para conocer cuánto calor requiere el invernadero y las pérdidas térmicas, es necesario realizar el balance energético del mismo, con el modelo propuesto por Kimball, B. A. (1973). [3] Puede desarrollarse. Se consideró la temperatura mínima y media promedio del sitio dónde está ubicada la estructura, los materiales de la cubierta, el flujo y velocidad del aire y el tipo de cultivo que hay en el interior.

Balance Energético		
Calor necesario para calentar un Invernadero. Q	$q = \frac{A_H}{A_G} K \cdot (t_i - t_a)$	202.3 W/m2
Radiación neta. Rn	$R_n = S_5 [I \cdot (\alpha + \tau \cdot \alpha_e)] + S_C \cdot \sigma \cdot \tau_{ter} \cdot (\epsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \epsilon_{ter} \cdot T_C^4)$	5kWh/m2
Calor por conducción y convección. Qcc	$Q_{cc} = S_d \cdot K_{cc} \cdot (t_i - t_e)$	$h_i = 7.0 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ $h_e = 12.1 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$
Calor sensible y latente perdido por la Renovación del aire en el interior del invernadero.	$Q_{ren} = V_{inv} \cdot \frac{R}{3600} \cdot \rho \cdot [c_{pa} \cdot (t_i - t_e) + \lambda_0 \cdot (x_i - x_e) + c_{pv} \cdot (t_i x_i - t_e x_e)]$	$c_{pa} = 900.5 \left[\frac{J}{kgK} \right]$ $h_e = 1570.69 \left[\frac{J}{kgK} \right]$
Calor absorbido por la evapotranspiración del cultivo.	$Q_{evp} = \lambda_0 \cdot ET_0$	1.34[kPa]
Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo. Q suelo	$Q_{sue} = K_s \cdot S_c \cdot \frac{(t_i - t_s)}{p}$	$K_s = 2.0 [W/mKa]$
Energía calorífica que será necesaria aportar. (Qcal) o eliminar (Qref) del invernadero. (Qcli).	$Ct = KxSx(Ti - Te)$	735 Kcal/h
Temperatura del agua	$Q = W_1 C \cdot (Te - Ts)$	45-65 °C



Tabla 21 Balance Energético

Colectores Solares

Una vez realizado el balance energético se conoce el calor necesario que se requiere aplicar para mantener la estructura en las condiciones deseadas, a partir de ello puede proponerse un sistema solar, ya sea un colector plano, un concentrador de espejos planos, curvos, o el que sea conveniente y económicamente viable para todo el proceso. [1][2]

En este caso se modela un concentrador solar.

$$\eta = 0.884 \left(\frac{T_i - T_{Amb}}{I} \right) - 0.0071 \left(\frac{T_i - T_{Amb}}{I} \right)^2 \quad (1)$$

Donde η es la eficiencia térmica del colector solar, T_i es la temperatura de agua de entrada al colector, T_{Amb} es la temperatura ambiente e I es la radiación solar incidente sobre el colector solar. Type 74 en TRNSYS.

Caldera auxiliar de gas

El calentador de gas auxiliar se considera el (type 6), que tiene una capacidad de 700kW. El calentador mantiene el fluido a 60°C en caso a que la energía generada por el equipo solar no sea suficiente.

Termo tanque

Para simular el termo tanque se emplea el (type 4c) emplea dos entradas y dos salidas de agua, el agua sale del tanque los colectores por la parte inferior y regresa hacia la parte superior, para aprovechar la temperatura baja y tener una mayor acumulación y generación de calor en los colectores, el agua sale del tanque y se dirige a los intercambiadores de calor para aprovechar la temperatura más elevada del fluido en



el tanque.

Bombas de velocidad

Se generan con (type 114), arrancan cuando la diferencia de temperaturas entre el agua fría de la parte inferior alcanza una temperatura de 15°C.

Intercambiadores de calor

Se utilizó el componente (type 11f-2) se basa en la efectividad de capacitancia mínima de un intercambiador, se proporcionó un coeficiente global de la transferencia de calor y los flujos propuestos de ambos fluidos.

Diversores y mezcladores

Utilizados como su nombre lo adjudica mezclar fluidos de agua, siendo ajustables a los requerimientos, lo representa el (type 6)

Simulación del sistema y resultados.

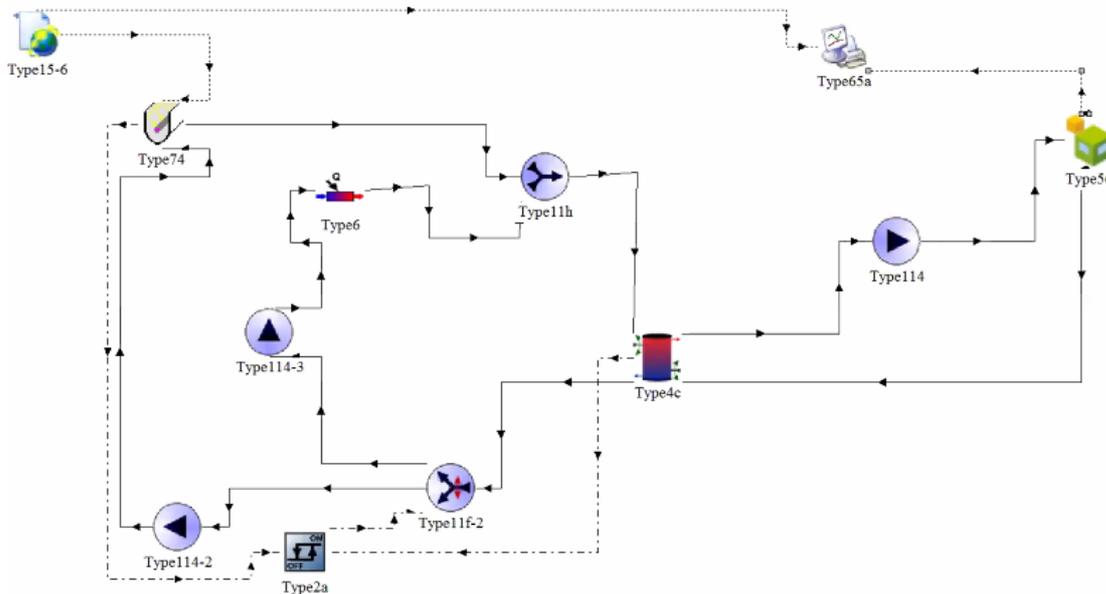


Figura 21 Simulación del comportamiento del invernadero.

Se simuló la operación del flujo y el comportamiento del sistema en el periodo de un año, con las condiciones climáticas idénticas para cada corrida, correspondientes a un año típico en Jocotitlán, Edo. De Méx.

Se requieren 100 colectores de placa plana para poder suministrar el calor y flujo necesario para tener un rendimiento aproximado de 75%, o bien una extensión de 60



metros de CCP, que proporcionen agua caliente a 45°C y pueda generar calor 202 W/m²

Estimación económica del sistema.

Equipo	Recomendado	Precio Unitario
Colectores Solares de tubos evacuados, heat pipe con cabezal	100	\$ 100,000.00
Almacenamiento térmico	60m3	\$ 50,000.00
Intercambiadores de calor	5	\$ 10,000.00
Inversión total		\$ 160,000.00

Conclusión

Del análisis preliminar se observa que el valor financiero del proyecto resulta favorable para la utilización de energía solar. dado que la vida útil de los equipos se estima en 27 años, se tiene que el consumo energético de cada configuración se mantendrá igual durante toda la vida útil, pero el costo del gas sufre un aumento de precio anual conocido del 9%, y la inflación en México es del 4%. en este primer trabajo se expone únicamente el uso de tubos evacuados y un CCP, para trabajos futuros se considerarán colectores solares con mayor eficiencia como los colectores Fresnel y así reducir los costos de inversión.

Los limitantes del trabajo sugieren modificar y proponer un sistema aún más accesible y competitivo, se requiere precisar aún más el análisis para simular los colectores CCP.

Bibliografía

[1] SRCC, OG-100 ICC-SRCC CERTIFIED SOLAR COLLECTOR #2011118A, (2013).



<https://secure.solar-rating.org/Certification/Ratings/RatingsReport.aspx?device=1633&units=METRICS>.

[2] SRCC, OG-100 ICC-SRCC CERTIFIED SOLAR COLLECTOR #10001909, (2014).

<https://secure.solar-rating.org/Certification/Ratings/RatingsReport.aspx?device=6917&units=METRICS>.

[3] J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, 2013.

[4] CONAPO, República Mexicana: Indicadores demográficos, 2010-2050, (2013).

http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos (accessed October 14, 2016).



PLANTA HÍBRIDA SOLAR-GAS PARA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS EN XOCHITEPEC, MORELOS

Octavio García Valladares^{*a}, Isaac Pilatowsky Figueroa^a, Alfredo Domínguez Niño^a, Ana Lilia César Munguía^a, José Jassón Flores Prieto^b, Jessica Arlet Hernández Martínez^b, Francisco Iván Álvarez Sánchez^b, José Rodolfo Pérez Espinosa^c

^a Instituto de Energías Renovables – UNAM, Priv. Xochicalco s/n Col. Centro, 62580, Temixco, Morelos, México, ogv@ier.unam.mx

^b Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Interior Internado Palmira s/n Col. Palmira, 62490, Cuernavaca, Morelos, México

^c I+D+I Solar S.A. de C.V., Condominio A Lote 12 Conjunto Urbano Parque Científico y Tecnológico de Morelos No. 1 Int. 11, Fraccionamiento Santa Fé, 62790, Xochitepec, Morelos, México.

Resumen

Este artículo presenta una planta híbrida solar-gas para la deshidratación de productos agrícolas diseñada e instalada en Xochitepec, Morelos. La planta está integrada por una cámara de secado semi-continua con una capacidad de hasta 500 kg de producto fresco. La energía térmica requerida para el proceso de secado es proporcionada por dos sistemas solares térmicos: un sistema directo de calentamiento de aire con 16 calentadores solares de placa plana (37 m²) diseñados y patentados por el Instituto de Energía Renovable y un sistema de calentamiento de agua con 16 colectores solares de placa plana (37 m²), un termotanque de almacenamiento y un intercambiador de calor de tubos y aletas. La planta tiene un sistema de respaldo de Gas LP para calentar el aire con el intercambiador de calor agua-aire de aletas y tubos.

En este artículo se presentan resultados experimentales obtenidos con los calentadores solares de aire y colectores de agua junto con la cámara de deshidratado. De acuerdo a los resultados obtenidos, ambos sistemas termosolares pueden suministrar la temperatura requerida en el proceso de deshidratación de alimentos (> 50 °C); con lo que se pueden deshidratar



diferentes tipos de productos alimenticios en la planta termosolar, lo que resulta en ahorros sustanciales de combustible y beneficios ambientales.

Palabras clave: *energía solar, secado solar, evaluación térmica, colectores solares, sistemas solares térmicos*

Introducción

El secado es el proceso más antiguo de conservación de alimentos conocido y continúa vigente en muchas áreas rurales del mundo. Sin embargo, la operación de secado tiene un alto consumo energético, en donde el alto costo y la baja disponibilidad han orientado su desarrollo hacia nuevas formas de energía, como la solar o la recuperación de calor industrial. El proceso de secado se lleva a cabo comúnmente utilizando combustibles fósiles, sin embargo, con importantes efectos de contaminación ambiental producidos por las emisiones de SO_2 y NO_x ; y el uso de secadores eléctricos, no es apropiado para las regiones rurales de los países en desarrollo.

Una opción tecnológica es el secado solar. Sin embargo, el principal problema es la intermitencia de la radiación solar y los períodos nocturnos, en donde no se recibe la energía, lo que requiere un respaldo térmico o de almacenamiento térmico.

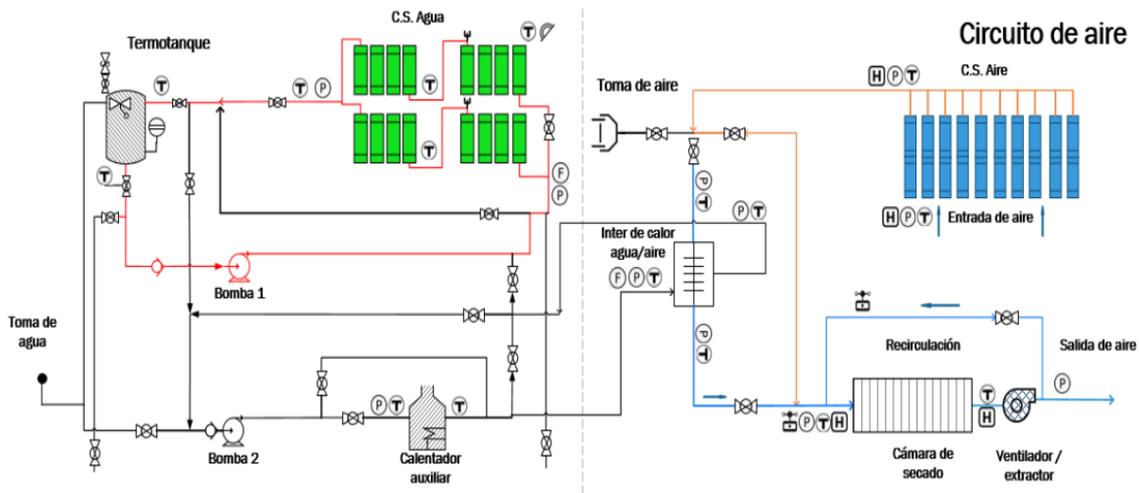
Se ha demostrado que la energía solar es más aplicable a los sistemas de secado a baja temperatura que a los secadores de alta temperatura. En este trabajo se presentan los primeros resultados experimentales de la Planta Híbrida Solar-Gas para Deshidratación de Alimentos en Xochitepec, Morelos, para el tratamiento de varios productos alimentarios. La planta tiene la opción de operar con dos tecnologías solares y un respaldo de combustión a gas LP, junto con la aplicación de sistemas de almacenamiento térmico.

Descripción de la planta

Para poder llevar a cabo el secado de alimento, la planta de secado cuenta con seis principales elementos, los cuales son: un sistema directo de calentamiento de aire con 16 calentadores solares de aire de placa plana (37 m^2) diseñados y patentados por el Instituto de Energía Renovable y un sistema de calentamiento de agua con 16 colectores solares de placa plana (37 m^2), un termotanque, un



intercambiador de calor agua-aire, calentador auxiliar y cámara de secado tipo túnel. Teniendo en cuenta las diferentes necesidades de operación de la planta, los circuitos de agua y aire fueron diseñados de modo tal que, mediante el cierre y apertura de válvulas se pudiera conseguir el calentamiento de aire de diferentes maneras y en caso de ser necesario utilizar el calentador auxiliar de gas LP para utilizar la planta las 24 horas del día, en días nublados o cuando la energía solar acumulada se haya agotada. La figura 1 muestra un diagrama esquemático de la instalación, junto con los sensores utilizados en su monitoreo. En este caso, se eleva la temperatura del agua contenida en el termotanque durante el día, haciendo pasar el agua por los colectores solares, mientras el aire que entra a la cámara de secado es calentado directamente con los colectores solares de calentamiento de aire. Los sensores utilizados para medición de las diferentes variables son: sensores de temperatura PT1000 (25, para medir las temperaturas



de entrada y salida de cada componente), sensores de temperatura tipo PT100 (27, para medir temperaturas en el interior de la cámara de secado), sensores de flujo de agua tipo turbina FTB1423 en cada uno de los circuitos de las bombas, sensores de hilo caliente para medir la velocidad y el flujo de aire a la salida del banco de captadores de aire y a la entrada del túnel de secado, 5 sensores que miden humedad relativa y temperatura (ambiente, entrada y salida de los colectores de aire, en el ducto de entrada a la cámara de secado y a la salida de la misma), 2 medidores de presión diferencial para agua y aire (a la entrada y salida del intercambiador agua-aire) y piranómetro modelo Kipp and Zonen CMP3.

Figura 1. Diagrama de los sistemas y sensores de monitoreo de la planta.

Evaluación térmica y energética de la planta



La eficiencia térmica instantánea del banco de colectores (aire o agua), fue calculada de acuerdo a la siguiente expresión [1]:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} C_{p_m} (T_{out} - T_{in})}{I A_c + W_{aux}} \quad (4)$$

Donde \dot{m} y C_{p_m} es el flujo másico y el calor específico del fluido caloportador (agua o aire), A_c el área de apertura de los colectores solares, I la irradiancia solar en el plano del colector, T_{in} y T_{out} la temperatura de entrada y salida al banco de colectores, y W_{aux} la potencia del motor o ventilador respectivamente.

Evaluación de sistema solar directo para calentamiento de aire

La prueba denominada "Prueba sin producto o sin carga" fue hecha para determinar la potencia y la eficiencia en el sistema de calentamiento solar de aire. Las condiciones del ambiente en las que se desarrolló la prueba del 25 de febrero de 2020, de las 09:36-13:30 horas fueron las siguientes: la humedad relativa se presentó con tendencia decreciente en el intervalo de 56-44%, la temperatura ambiente con tendencia creciente de 26-33°C, fue un día despejado con irradiancia máxima de hasta 1040 W/m². Los datos meteorológicos registrados durante la prueba se muestran en la Figura 2.

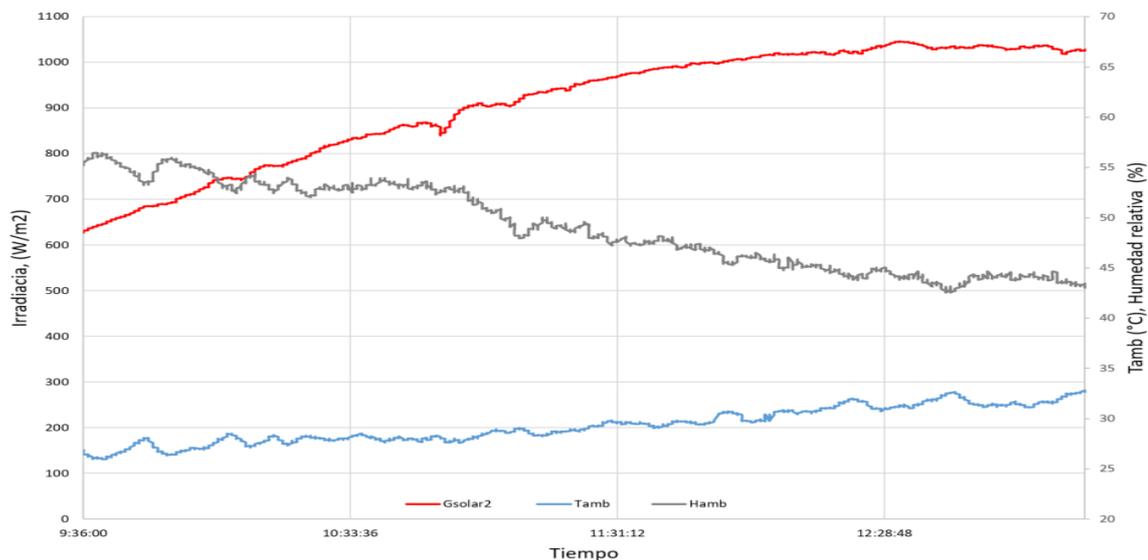


Figura 2. Condiciones del ambiente en prueba de calentamiento de aire directo.

En la Figura 3a se muestra que a medida que transcurre la prueba, la temperatura en la entrada T_{inCA1} de los colectores, se incrementa de 40 a 45°C; mientras que las



temperaturas en la salida del campo de colectores de aire ToCA4-2 y la temperatura a la entrada del túnel de secado ToLCA2 se incrementan de 51-64 y de 47-58°C.

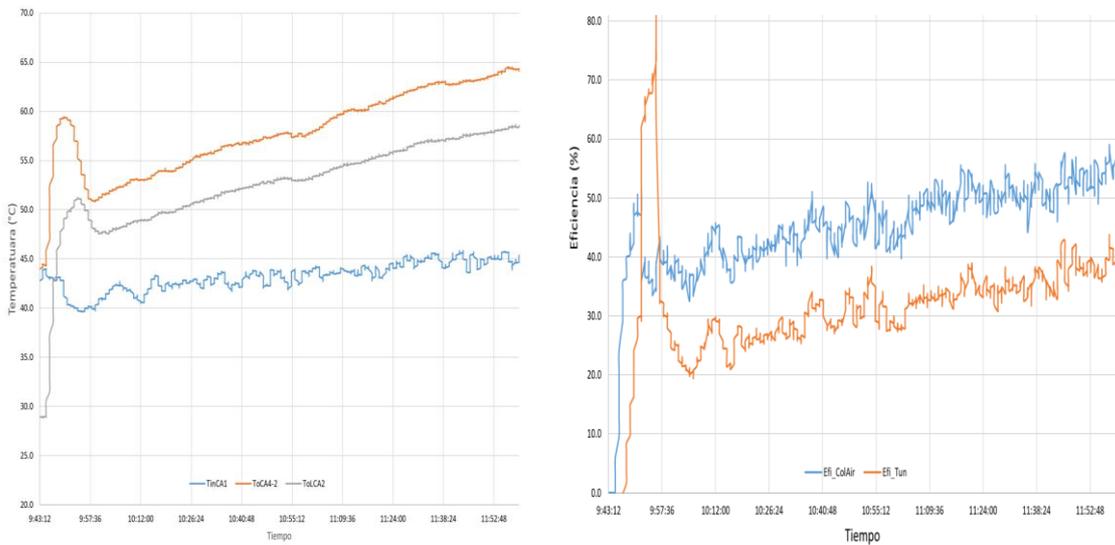


Figura 3. a) Temperaturas; y b) Eficiencia térmica en prueba de calentador de aire sin producto

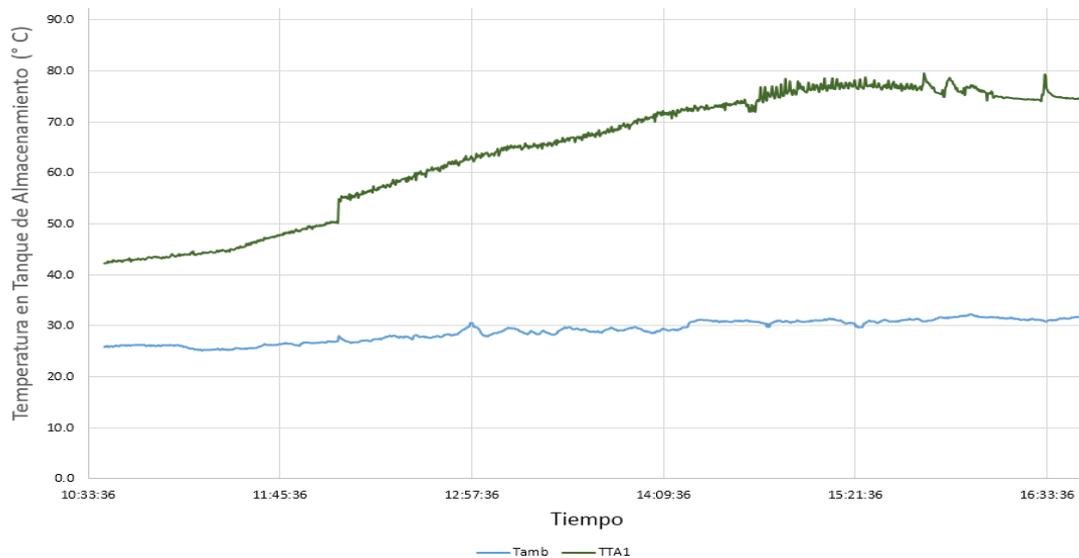
Considerando los flujos de aire y los incrementos en la temperatura, la potencia de calentamiento a la entrada del túnel, a la salida del campo de colectores de aire y la potencia solar, presentaron variación de 6-15, 10-21 y de 25-38 kW, respectivamente. Partiendo de estas potencias, las eficiencias de calentamiento a la entrada del túnel y a la salida del campo de colectores fueron de 25-40 y de 38-52% en el periodo de prueba, respectivamente, como se muestra en la Figura 3b. La energía obtenida durante esta prueba representa por otro lado alrededor de 5.6 kg de CO₂ evitados al ambiente en comparación de si este calentamiento se realizará con un calentador de gas LP.

Evaluación de sistema solar indirecto para calentamiento de aire



En esta prueba se evaluó el sistema de calentamiento de agua con el termotanque de 2500 litros. Las condiciones del ambiente en las que se desarrolló la prueba, que se realizó el 27 de febrero de 2020, de las 10:42-16:48 horas. La humedad relativa se presentó en el intervalo de 47-41%, la temperatura ambiente de 25.8-31°C, fue un día despejado con irradiancia máxima de 1020 W/m². En la Figura 4 se muestra una historia de la temperatura del tanque de almacenamiento TT, a lo largo de la prueba. La temperatura inicial y final del TT fue de 42 a 78°C en un tiempo de 4 horas y 52 minutos.

Figura 4. Temperatura ambiente y del termotanque durante la prueba.



En el análisis experimental se logró obtener 415 MJ (115 kWh/d) de energía transferida al agua del termotanque. La eficiencia del banco de captadores solares para calentamiento de agua fue en promedio de 63.3%, con un consumo de energía eléctrica de la bomba de apenas 6.6 MJ/d (1.8 kWh/d). La energía obtenida durante esta prueba representa por otro lado alrededor de 11 kg de CO₂ evitados al ambiente en comparación de si este calentamiento se realizará con un calentador de gas LP. Las temperaturas alcanzadas en el sistema permiten tener aire caliente después de las horas solares por encima de 50°C en un promedio de entre 2 y 3 horas adicionales.

Conclusiones

Los primeros resultados de la operación de la planta híbrida solar-gas para la deshidratación de productos agrícolas han mostrado la viabilidad técnica del acoplamiento de las tecnologías de calentamiento solar directo de aire e indirecto utilizando calentamiento solar de agua. Ambos con captadores solares planos con el



propósito de operar el túnel de secado. Fue posible alcanzar y mantener un rango de temperatura de 55 °C para el calentamiento solar directo de aire y de 65 °C para el calentamiento indirecto, con eficiencias cercanas al 50%, lo que significa un amplio dominio de temperaturas para la deshidratación de un número significativo de alimentos.

Agradecimientos

Esta planta fue desarrollada como resultado del proyecto “Desarrollo de captadores solares de baja y mediana temperatura para calor de procesos en la industria”, del premio PRODETES 17-PL-CCEL-000020.

Referencias

[1] N. M. Ortiz-Rodríguez, O. García-Valladares, I. Pilatowsky-Figueroa, A. C. Menchaca-Valdez, Solar-LP gas hybrid plant for dehydration of food, *Applied Thermal Engineering*, vol. 177, 115496, Aug. 2020, pp. 1-15, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115496.



DESHIDRATADOR SOLAR-TÉRMICO FOTOVOLTAICO TIPO TÚNEL

Erick César López Vidaña*, Sergio Uriel Lugo Ucán, Jorge Escobedo Bretado, Adriana Robledo Peralta, Ismael Hernández Landeros y Luis Arturo Torres Castañón
Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Calle CIMAV 110, Ejido Arroyo Seco C.P. 34147, Durango, Durango, México.

* email autor de correspondencia: erick.lopez@cimav.edu.mx

Resumen

El presente trabajo presenta un deshidratador solar-térmico fotovoltaico tipo túnel para el procesamiento de una gran variedad de productos agropecuarios. Se presentan los resultados experimentales del deshidratado solar de cáscara de manzana para la obtención de biomasa con el objetivo de darle un tratamiento químico para en la remoción de metales pesados en agua de consumo humano. Los resultados muestran que es posible deshidratar la cáscara de manzana con una temperatura promedio de 54.06 °C, con una temperatura máxima de aire registrada 60.9 °C y una mínima de 48.1 °C. El contenido de humedad de las muestras se redujo de 4.36 a 0.32 g agua/ g sólido seco en un tiempo de 4 horas. Los sistemas de deshidratación solar son adecuados para procesar una gran variedad de alimentos con un ahorro sustancial de energía convencional para el calentamiento del aire con lo que se reduce la huella de carbono de este tipo de procesos; además de su integración a comunidades productoras de alimentos que requieran procesar los excedentes de sus producciones para evitar la pérdida de alimentos y darles valor agregado a sus productos, generando un beneficio social y económico de estas comunidades.

Palabras clave: deshidratado solar, productos agropecuarios. Deshidratador solar, cinética de secado, secado de manzana, deshidratador tipo túnel

1. Introducción

La deshidratación es el método de preservación de alimentos más utilizado en el mundo y es aplicado para remover humedad hasta un punto en donde se considere que el alimento es estable y pueda almacenarse sin descomponerse [1]. Se estima que, a nivel nacional, un 40% de la producción de alimentos se pierde a lo largo de la cadena de producción por un mal manejo de los alimentos. Tan sólo en los Estados Unidos se calcula que 43,500 millones de kilos de alimentos se pierden en la cadena de productor a consumidor cada año. De éstos, dos tercios son frutas, verduras, leche, productos derivados de cereales y azúcar. Sin embargo, se piensa que una parte de esta merma pudiera ser recuperable: aún si se lograra recuperar sólo el 5%, esto representaría el equivalente de las necesidades nutrimentales de 4 millones de personas (Kantor, L.S., Lipton, K., Manchester, A. and V. Oliveira. 1997. Estimating and Addressing America's Food Losses. Food Review, January-April, 1997.) El estado de Durango es la segunda entidad a nivel nacional productora de manzana destacando la variedad Red Delicious, ésta es la actividad frutícola más importante del estado [2], sin embargo, no toda la producción de manzana es comercializada, encontrando en las mermas de la producción una oportunidad para darle un valor agregado a esta



materia de deshecho para el tratamiento de aguas, esto debido a su contenido de polímeros naturales capaces de capturar aniones presentes en agua.

En el secado tradicional o a cielo abierto el alimento es puesto en el piso permitiendo que los rayos solares incidan sobre él; este método tiene varias desventajas: no uniformidad en el secado, la contaminación del producto por polvo o por insectos, lluvia, pérdida de sus propiedades nutrimentales, color u oscurecimiento [3]. Por otro lado, el secado de alimentos mediante estructuras que los protegen de los inconvenientes de la intemperie, resulta atractivo dado que se tiene un mejor control del proceso en cuanto a la exposición a la radiación solar, la temperatura a la que se expone el producto, así como a diferentes velocidades de aire que pueden obtenerse dentro del túnel. Estas variables pueden manipularse a conveniencia para establecer las mejores condiciones de operación del secador para un producto determinado.

2. Metodología

2.1 *Materia Prima*

La manzana se obtuvieron en el mercado local del municipio de Canatlán del estado de Durango ([24°35' N 105° O](#)), en el mes de octubre. Las manzanas seleccionadas fueron frutos maduros, sin presentar señales de descomposición, pero a causa de sus características no son aptas para comercialización. La cáscara de manzana se obtuvo mediante el pelado manual del fruto. Su contenido de humedad inicial fue de $4.37 \pm 0,02$ g agua / g de sólido seco. Una vez obtenidas las cáscaras, se procedió al secado para evitar el oscurecimiento enzimático.

2.2 *Equipo de secado solar*

Las pruebas se realizaron en la plataforma solar del Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Durango, Durango; ubicada a 23°51'N, -104° 41'O, en octubre de 2020 en un secador solar mixto tipo túnel en condiciones de operación de convección forzada.

El secador solar mixto tipo túnel (Figura 1) consiste en una cámara de secado tipo túnel construida de metal y vidrio transparente, con puertas frontales para manipular el alimento. El secador tiene un área efectiva de secado de 4.5 m² (Figura 1). Las cáscaras de manzana se colocaron en las bandejas dentro de la cámara de secado la cual puede o no recibir la radiación solar directa. Un ventilador de corriente directa toma aire del ambiente y lo introduce al interior del túnel en un rango de velocidades de 0.5 a 3 m/s. El ventilador es alimentado por una batería de 12 V que a su vez es alimentada con un panel fotovoltaico de 100 W. En este secador el aire se calienta mediante un intercambiador de calor compacto aire-agua de flujo cruzado (0.16 m²) el cual es alimentado por un tanque de almacenamiento térmico de agua de 300 L de capacidad acoplado a un sistema de respaldo térmico auxiliar con 3 resistencias eléctricas de 1 kW cada una. El agua es calentada por un sistema de calentamiento de agua solar de 2.5 m² tipo plano de alta eficiencia. La circulación de agua por el calentador solar de agua y el intercambiador de calor compacto se logra mediante dos bombas de revoluciones variables de 1/6 hp (124 W).



Figura 1. Secador solar mixto tipo túnel

2.3 Procedimiento experimental e Instrumentación

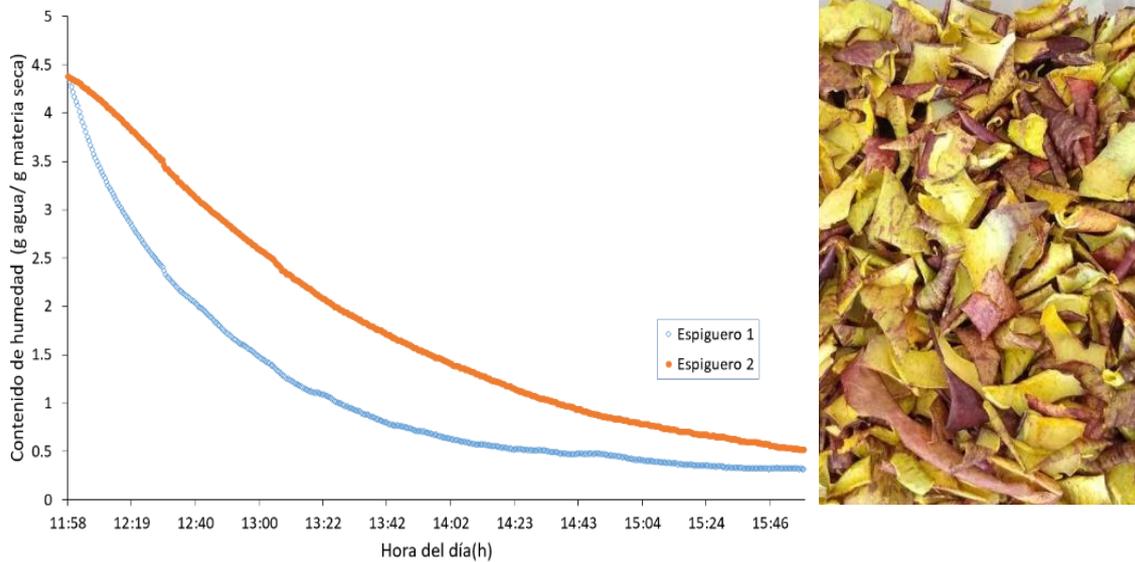
El día previo a la experimentación el agua del termostanque se calentó utilizando el calentador solar de agua hasta alcanzar una temperatura aproximada de 55 °C. Una vez que se obtuvieron las cáscaras de manzanas se procedió a ponerlas en las bandejas de secado en una sola capa y con una carga uniforme en cada charola con un peso aproximado de 120 g. Se registró la temperatura (Tipo T; ± 1.07 °C) del aire y la humedad relativa (RH sensor SHT31) a lo largo del túnel de secado. Las celdas de carga (0-20 kg; ± 3 gr.) registraron en tiempo real la pérdida de peso de las cáscaras de manzana. Se ajustó la velocidad del motor (PWM-DC) para proveer una velocidad de aire (anemómetro Cole-Parmer, 0.1 m/s, precisión $\pm 2\%$) de 1 m/s en el interior de la cámara de secado. Se ajustó y registró un flujo másico de agua (flujómetro electromagnético Endress+Hauser Proline P200) entre el tanque de almacenamiento y el colector solar, así como entre el termostanque y el intercambiador de calor, con una posición del sensor basada en la Norma ISA-RP31.1-1977 [3]. Una vez establecidas las condiciones iniciales de operación se inició el registro de los datos. Se registró la radiación solar con un piranómetro Eppley 8-4.8 ($S=8.29$ $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$; $u=0.08$ $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$). Los datos de temperatura y humedad relativa fueron registrados mediante un adquisidor Graphtec GL-820. El experimento se detuvo cuando se observó una variación no mayor a 2 gramos en las últimas dos mediciones. Una vez que la cáscara seca alcanzó el equilibrio térmico se llevó al laboratorio para determinar el contenido de humedad final y se guardó en un empaque hermético para su posterior procesamiento para el tratamiento de aguas. La instrumentación para monitorear las variables censadas, podrán permitir encontrar el diseño de una cámara específica para este producto agrícola [5].

3. Resultados y discusión



3.1 Cinéticas de secado

Figura 2. izquierda: cinética de secado solar de cáscara de manzana; derecha: cáscara de manzana deshidratada.



De acuerdo a la figura 2 se observan las cinéticas de secado solar de cáscara de manzana en convección forzada. Se observa que la curva de secado que corresponde al espiguero 1, tuvo una pendiente más pronunciada alcanzando la humedad en equilibrio en menor tiempo que aquellas muestras del espiguero 2. Lo anterior se debe a que el espiguero 1 es el primero en recibir el aire proveniente del intercambiador de calor y por ende, con la temperatura más alta. Una vez que el aire pasa por el primer espiguero, la humedad es mayor y la temperatura menor, con lo que el potencial de secado se reduce. Ambas cinéticas fueron de 4h de duración, sin embargo, el contenido de humedad final del primer espiguero (0.31 g agua/g sólido seco) fue menor que la del segundo espiguero (0.52 g agua/g sólido seco)

3.2 Condiciones de operación del secador

En la Figura 3 se muestran los datos climáticos registrados durante el experimento. Al inicio del experimento se cuenta con una irradiancia solar de 960 W/m², la cual va en aumento hasta alcanzar el máximo de 1,058 W/m² a las 13:42 h y posteriormente disminuye gradualmente a 815 W/m² hasta el final de la experimentación (16:00 h). La temperatura ambiente se encuentra oscilando entre 25 y 30 °C, con un promedio de 27 °C.

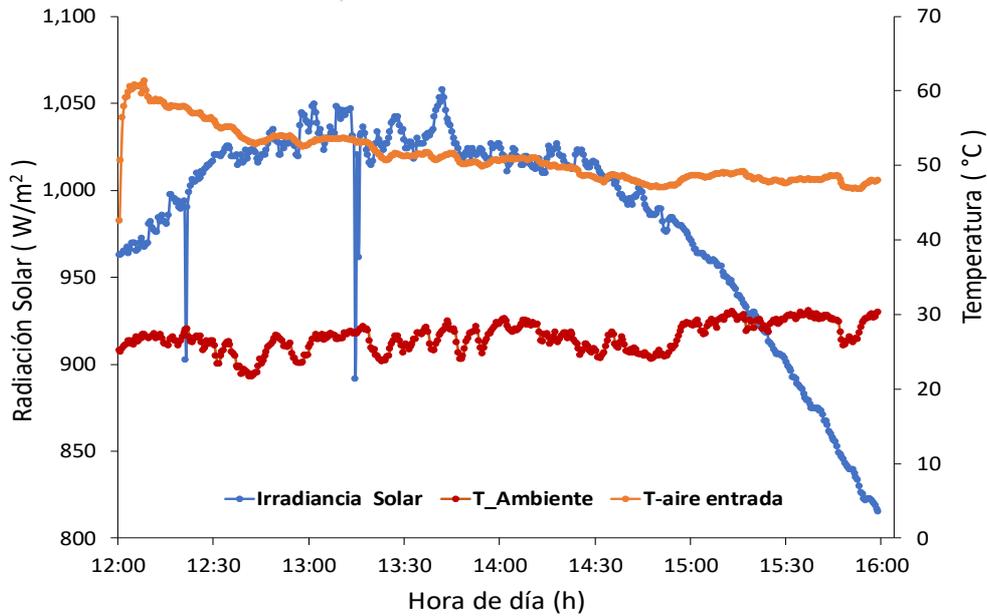


Figura 3. Condiciones climáticas durante las pruebas experimentales

En la Figura 4 se presentan los resultados de la temperatura y humedad relativa en el interior del túnel de secado. Se observa que la temperatura al inicio del recorrido del túnel es mayor que a la salida, lo contrario ocurre para la humedad relativa, en donde es menor a la entrada que a la salida del túnel. El comportamiento de dichos valores es coherente debido a que al inicio del recorrido del túnel se encuentra cercano al intercambiador de calor que suministra la energía al aire disminuyendo su humedad relativa, posteriormente el aire se desplaza hacia la salida teniendo contacto con el producto húmedo por lo el aire cede calor al alimento y este a su vez cede humedad al aire, perdiendo su capacidad de secado. La temperatura al inicio del túnel tuvo un máximo de 63 °C y un mínimo de 50 °C con un promedio durante la experimentación de 54 °C. Se observa que las temperaturas al inicio y al final del túnel empiezan con una diferencia cercana a 18 °C, sin embargo, en el transcurso de la experimentación va disminuyendo hasta 2.2 °C, debido a que la cámara tiende a lograr la homogeneidad mientras el producto se va deshidratando. Un comportamiento similar ocurre entre las humedades relativas al inicio y final del túnel, en donde al final del experimento la diferencia de humedades es de 3.1 % con lo cual se comprueba que el alimento está llegando al equilibrio.

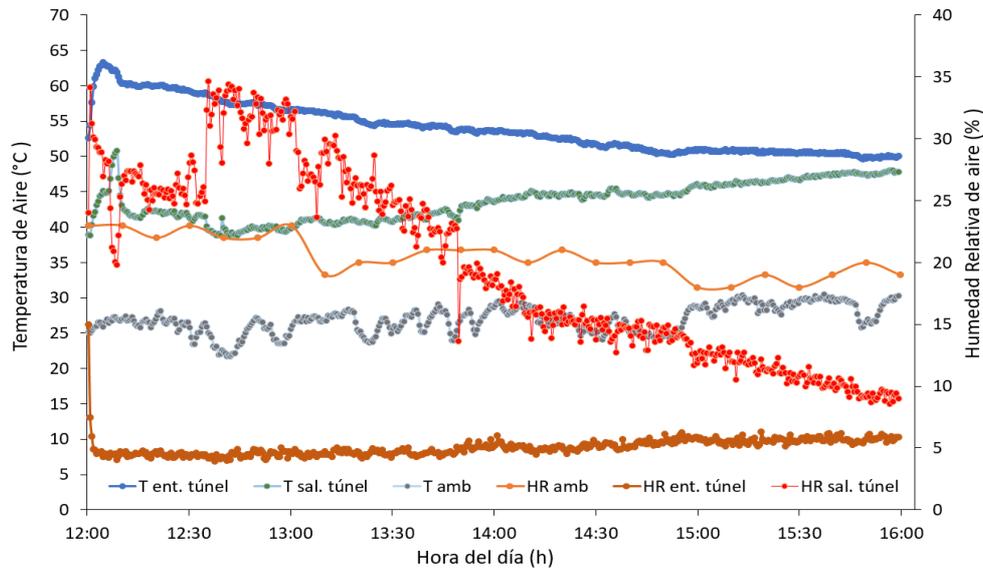


Figura 4. Valores de temperatura y humedad relativa en el interior del túnel de secado durante el experimento.

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados mostrados se muestra que es posible obtener cáscaras de manzanas deshidratadas con un tiempo de secado relativamente corto (4 h). La temperatura obtenida dentro de la cámara de secado fue de 54 °C, lo que permite tener un tiempo corto de secado. Se observó que la temperatura máxima registrada a la cual el aire entró fue de 63 °C y que a medida que el aire avanza y humedece, el potencial de secado disminuye como efecto de una disminución de la temperatura. En contraste la humedad relativa del aire aumentó conforme el aire avanzaba pasando de 5.92% a la entrada hasta 30.2% en la salida del túnel. El estudio de la cinética de secado de productos de desecho utilizando secadoras solares puede contribuir a la valorización de muchos productos de desecho o aquellos productos que por su nivel de madurez o por ciertas características no pueden ser comercializados

Referencias

- [1] D. K. Rabha, P. Muthukumar, and C. Somayaji, "Energy and exergy analyses of the solar drying processes of ghost chilli pepper and ginger," *Renew. Energy*, vol. 105, pp. 764–773, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.01.007.
- [2] Plan rector del sistema producto manzana. (2012). Gobierno del Estado de Durango.
- [3] T. Y. Tunde-Akintunde, "Mathematical modeling of sun and solar drying of chilli pepper," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2139–2145, 2011, doi: 10.1016/j.renene.2011.01.017.
- [4] ISA-RP31.1-1977. (1977). Specification, Installation, and Calibration of Turbine Flowmeters. Recommended Practice. ISBN 0-87664-371-3.



[5] Masnaji R. Nukulwar, Vinod B. Tungikar, "A review on performance evaluation of solar dryer and its material for drying agricultural products", Materials Today: Proceedings, Article in press, 2020.



DISEÑO DE HORNO SOLAR PARA INTERIOR DE CASA CON TUBOS REFLECTORES

Diana López López*, Julio César Sandría Reynoso, Anabel Bellido Varela, Adolfo de Jesús Pedraza Monge, Héctor David Keneddy Cabrera

Ingeniería Mecatrónica, Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, Nanchital, México

*diana.lopez@utsv.edu.mx

Resumen

Partimos de la necesidad de tener un espacio dentro de los hogares para realizar la cocción de los alimentos de forma sustentable con energía solar. Colocar el horno en el interior reduce la posibilidad de entrada de rayos solares en la cámara de cocción, por este motivo se implementan tubos de luz que estarán colocados de forma vertical con una cúpula superior en el techo de la casa conectados al horno solar. Se experimenta la temperatura en la cámara interior con tres tubos de material galvanizado y tubos PVC blanco de 4 pulgadas.

Palabras clave: horno solar, interiores, materiales reflectivos.

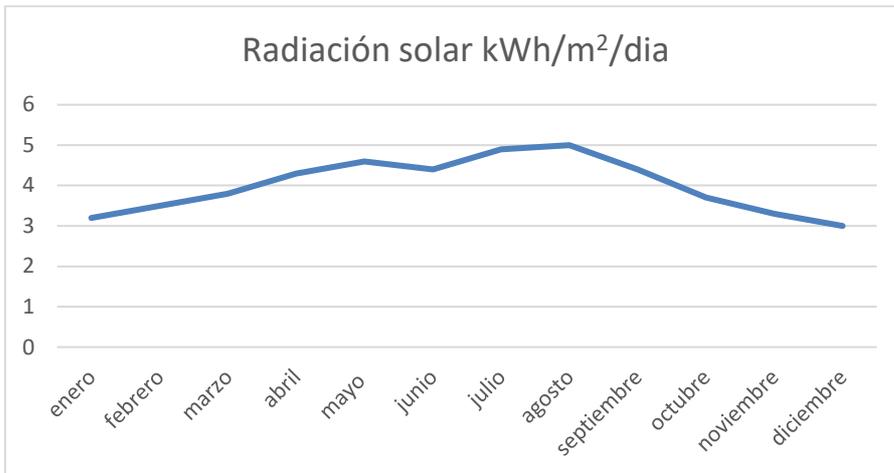
Introducción

La energía solar presenta múltiples beneficios para el desarrollo humano, desde antiguas civilizaciones se ha utilizado la luz solar para construcciones de calendarios e instrumentos rudimentarios que calculan el paso del tiempo. Así mismo, se han implementado en concentradores y hornos solares, hasta realizar variadas celdas solares que convierten la energía solar en energía eléctrica. Este reporte se enfoca en la aplicación de un horno solar para interior de casas, surge de la necesidad de tener un espacio dentro de la casa para realizar cocciones de alimentos utilizando energía renovable, sin necesidad de salir de casa.

La evolución que se presenta en la sociedad y nuevos hábitos de consumo, requieren de un ambiente sustentable donde las actividades diarias reduzcan la huella ecológica y al mismo tiempo presenten ahorros por consumo de energía que de acuerdo con los datos de INEGI [1] en 2018, el 85 % de las viviendas utilizan una estufa para calentar o cocinar alimentos, de estas el 95.4 % se refieren a estufas de gas con encendido electrónico y manual. Así mismo, el 15.4 % de las viviendas particulares usan la estufa menos de 1 hora, y el 60.6% la usa de 1 a 2 horas, el 22.2 % la usan más de 2 a 5 horas, para la región templada que corresponde al estado de Veracruz. La encuesta también resalta que el 38.3 % usa más de 30 minutos el horno de microondas. Presentar una alternativa de cocción que puede ser adoptada para diferentes estratos sociales como se menciona en la tesis de Rosas [2].

Recurso energético

La ubicación en donde se encuentra el horno solar es en la ciudad de Xalapa, Ver, reportando el mes de agosto como el más favorable con 5 kWh/m²/día y diciembre con 3 kWh/m²/día como el menos favorable para radiación como se muestra en la gráfica 1 de acuerdo con la información de [3].



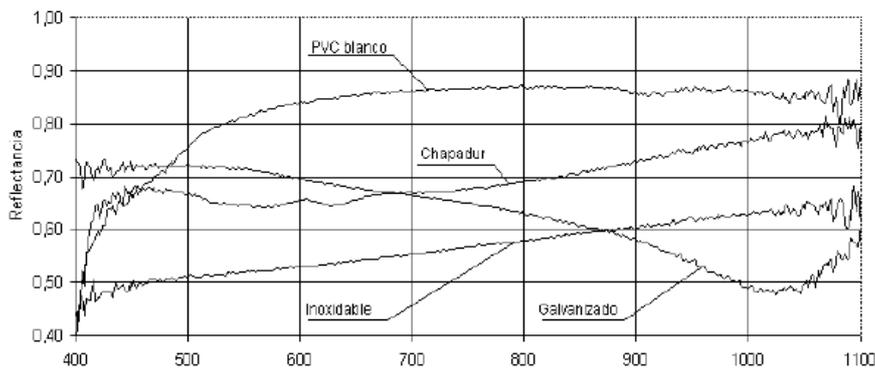
Gráfica 3 Radiación anual promedio Xalapa, Veracruz.

Tipos de hornos solares

Las partes básicas de un horno solar son [4]:

- Zona de cocción: una caja cuyas paredes están compuestas de aislante térmico. En el interior de esta caja se sitúa lo que se desea calentar.
- Cubierta transparente: una cubierta de cristal que forma una tapa de la caja, este medio dejará pasar la luz.
- Placa absorbidora: se encuentra en el fondo del horno de color negro permitiendo absorber el calor.
- Reflectores: Dirigen la radiación solar a la zona de cocción, normalmente son hechas de espejos.

Dada la importancia de concentrar rayos solares en un punto se requieren de materiales reflectores que tengan un buen desempeño, de acuerdo a Echazú [5] determina que el material PVC blanco tiene buen desempeño en longitudes de onda amplia, seguida del galvanizado el cual tiene mayor reflectividad en longitudes de 400 nm a 600 nm. Como se muestra en la siguiente imagen:



Gráfica 4 índices de reflectancia, fuente[5]

Por lo que se propone experimentar con dos tipos de materiales PVC blanco y galvanizado para un horno solar que se encuentre en el interior de una casa, tomando en cuenta tubos de luz solar que permitirán entrar a las zonas reflectivas



interiores del horno, en total 3 entradas con un diámetro de 4 pulgadas. Por otro lado, se requiere seleccionar un material con baja conductividad para ello se selecciona el poliuretano con un intervalo de 0.019 a 0.040 W/(mK), material sintético que tiene una alta eficiencia, tomando en cuenta la escasa entrada de rayos solares con un espesor de 5 cm.

El interior de la cámara se encuentra revestida por espejos de 3 mm que de acuerdo a Hong [6] cuenta con un máximo de 92 % de reflectancia en la zona del visible y caídas en el infrarrojo cercano alcanzando un 72%.

El material que se usa para las paredes es madera con una conductividad de 0.037 W/(mK) con un espesor de 8 mm de espesor. Para el monitoreo de temperaturas se implementa un sensor de temperatura y humedad DHT11, un termopar tipo k, así como una fotorresistencia para medir la iluminación dentro de la cámara, usando una tarjeta de desarrollo ESP8266, la cual envía datos a una API de ThingSpeak, para monitorizar la información recabada con un tiempo de muestreo de 10 minutos, así mismo se recuperan datos de radiación solar de la estación meteorológica automatizada que se encuentra en Xalapa, Veracruz a través de la CONAGUA.

Parte experimental

Se comienza con un diseño de la selección de materiales y la geometría del prototipo como se muestra en la figura 1 a la figura 4. Así mismo, se lleva a cabo la construcción del horno solar con los materiales señaladas, así como la colocación de la electrónica y comunicaciones:

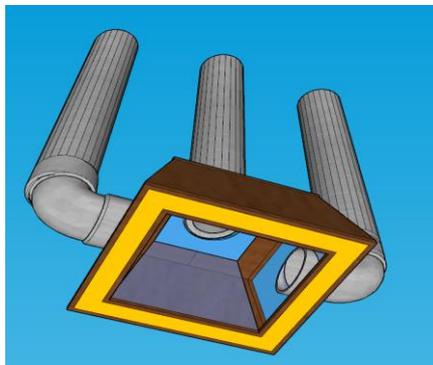


Figura 23 Vista interior de sección superior de horno, creación propia.

Figura 22 Diseño de horno para interiores, creación propia.

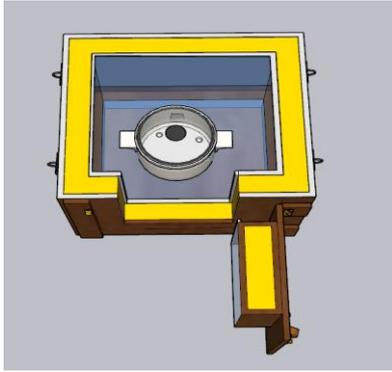


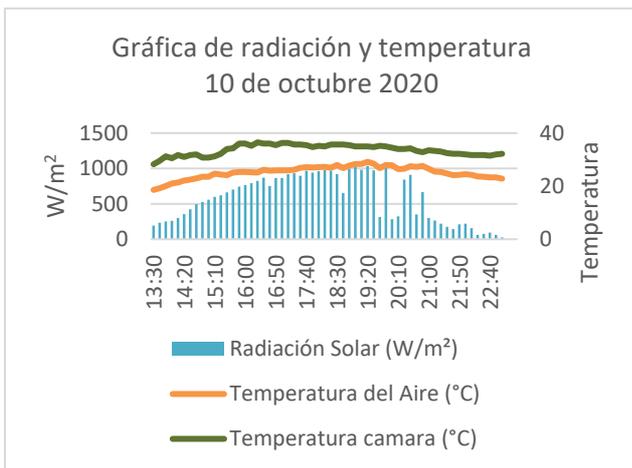
Figura 24 Vista interior de horno solar para interiores, creación propia.



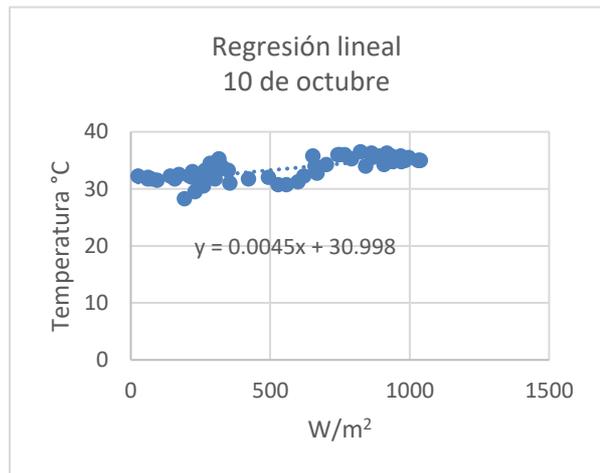
Figura 25 Tablero de parámetros físicos - thingspeak, creación propia.

Resultados

Se observa que al implementar los tubos de luz con material de lámina galvanizada se obtiene una temperatura máxima de 36 °C y una temperatura mínima de 28.25 °C, en contraste implementando material PVC blanco se obtiene una temperatura máxima de 33 °C y una mínima de 16.75 °C, así mismo se observa que la temperatura con tubos galvanizados presenta bajas caídas de temperatura durante el día ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. su regresión lineal. Con la configuración de tubos de PVC se muestran al inicio de día temperaturas del horno por abajo de la temperatura del aire exterior, esto debido a la caída de reflectividad para longitudes cortas del visible como se muestra en la Gráfica 6, y Gráfica 5 su regresión lineal.



Gráfica 6 Gráfica de radiación y temperatura 10 de octubre 2020 modelo con tubos galvanizado, creación propia.



Gráfica 5 Regresión lineal 10 de octubre modelo con tubos galvanizados, creación propia.

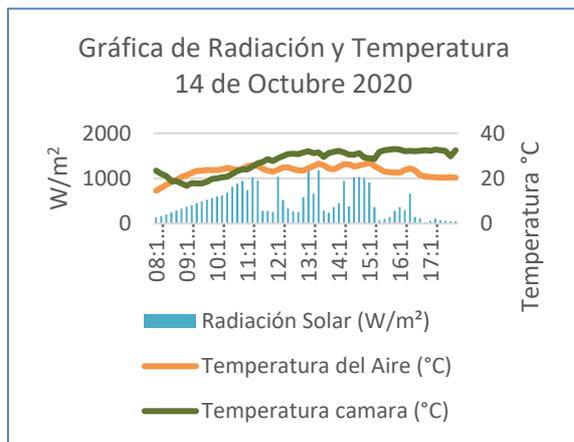


Conclusiones

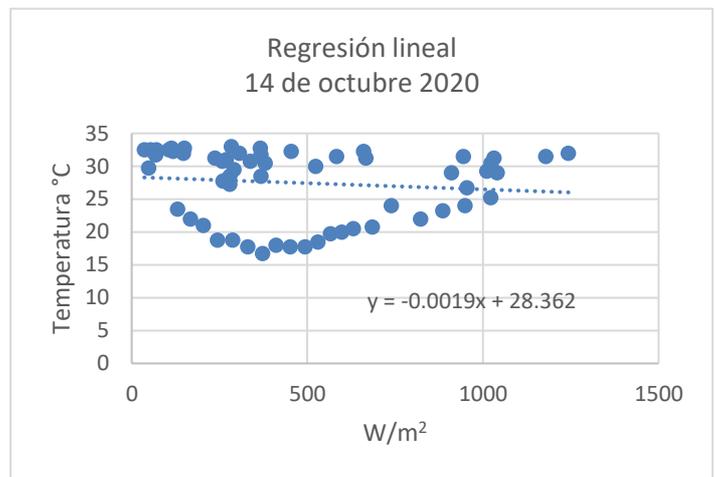
El prototipo de horno solar con tubos galvanizados permite la reflexión de rayos solares y alcanzan una diferencia de temperatura de 17.9 °C con respecto a la temperatura exterior, sin embargo, al analizar las regresiones lineales de los dos materiales se observa la predicción para 1000 w/m² de 32.95 °C para galvanizado y 26.46 °C para PVC.

Como mejora se puede experimentar con lentes de concentración en la superficie de los tubos y espejos que orienten los rayos al interior del conducto, así mismo realizar un corte con un ángulo de 19° y dirigido hacia el sur, para alcanzar bajas temperaturas que pueden llegar alrededor de los 42 °C y puedan ser útiles para la fase de incubación de procesos de yogurt con un proceso de 7 horas.

Referencias



Gráfica 8 Gráfica de radiación y temperatura 14 de octubre 2020 modelo con tubos PVC blanco, creación propia.



Gráfica 7 Regresión lineal 14 de octubre modelo con tubos PVC blanco, creación propia.

2018 PÁGINA 2/3 COMUNICACIÓN SOCIAL.”

[2] M. Rosas, “Diagnóstico, desarrollo, implementación y monitoreo de un sistema de cocción solar multiusuario en comunidades rurales de Michoacán, México.,” 2017. [Online]. Available:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111009/TFM_JOSEA_ANGEL_RODRIGUEZ_MORALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accessed: 04-Nov-2020].

[3] “Radiación Solar | Energía Solar,” 2018. [Online]. Available: <http://energiasolar.smartbitt.com/radiacion-solar/>. [Accessed: 04-Nov-2020].

[4] “¿Qué es y cómo funciona un horno solar? | Tipos de hornos solares,” 2018. [Online]. Available: <https://ecotrendies.com/que-es-y-como-funciona-un-horno-solar.html>. [Accessed: 03-Nov-2020].

[5] R. Echazú, “Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares,” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 4*, 2000. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79370>. [Accessed: 22-Sep-2020].



[6] M. Hongn and S. Flores, "Medidas de reflectancia espectral para espejos utilizados en la captación de energía solar," *Av. en energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 18, no. December, p. 8, 2014.

DISEÑO Y MODELADO DE UNA ESTUFA SOLAR PARA USO NOCTURNO INSPIRADO EN LA BIOMIMÉTICA

Miguel Pedroza Vallín*, Ana Marcela Portillo Muralles, Diego Antonio Ramírez Alvarado

Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Aguascalientes, México

**0221757@up.edu.mx*

Resumen

Tipo Las estufas solares han sido una respuesta económica, social y de salud para la cocina rural durante años, y recientemente se han podido tecnificar para ofrecer una eficiencia similar a la de las estufas de leña. En este documento se presenta un diseño innovador de una estufa solar que incorpora diferentes materiales térmicos para lograr una mayor eficiencia térmica, permitiendo incluso su uso durante la noche. El modelo fue evaluado matemáticamente a partir de datos sobre la irradiancia en dos zonas de alta incidencia solar, en el estado de Aguascalientes, México, y en el Corredor Seco, Guatemala. El diseño del prototipo está formado de tres partes principales, un reflector parabólico, una olla de material conductor y una caja aislante, donde es posible garantizar el calor por las noches. La estufa solar, durante el día, almacena el calor proveniente del reflector parabólico para su uso, además por la noche, mediante la caja aislante, donde se almacena el calor durante el día, también es posible su uso. Los resultados obtenidos del modelo muestran un comportamiento térmico eficiente en el almacenamiento del calor para su uso nocturno de hasta un 77%. Las estufas solares son una alternativa, en este sentido, en comparación con las estufas de leña, principalmente por los efectos nocivos sobre la salud.

Palabras clave: estufa solar, concentrador parabólico, biomimética.

Introducción

El acceso a la energía y la electricidad en personas que viven en zonas rurales presenta una de las necesidades más importantes a considerar en los países con índice



bajo de desarrollo económico. De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigación (INE) en Guatemala [1] y el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) en México [2], casi la mitad de la población vive en áreas rurales, el 46% y 33% respectivamente, no tienen acceso a estos servicios. El último censo, determinó que el 54.4% de las personas en Guatemala aún cocinan con leña, lo que puede ocasionar daños en la salud (especialmente daños respiratorios) [3], de la misma manera, presenta un riesgo de incendio y fomenta la deforestación. En este trabajo se diseñó una estufa solar con capacidad de trabajar durante las horas donde no hay radiación solar, a partir de un diseño elaborado en India [4], con el fin de ser implementada en las regiones áridas de Guatemala y el centro de México. En este diseño, además se incluye una mejora en el aislamiento, que es una de las debilidades del diseño de referencia, utilizando un material biomimetizado del pelo de oso polar para tener una mejor retención del calor, por Chen y Hu [5]. Ambos materiales, el aislante usado por el diseño original (Rockwool, un material aislante para construcciones muy popular en India y el Medio Oeste) y el CTA-25 de oso polar se comparan en este trabajo.

Objetivos

Mejorar el modelo de estufa solar mediante el uso de diferentes materiales buscando obtener una mayor eficiencia térmica, que incluso, sea capaz de mantener la energía suficiente durante los periodos donde la radiación solar es nula para la cocción de alimentos. Además, se tiene como objetivo específico, mejorar la calidad de vida de las personas en zonas rurales, donde el acceso a energía y electricidad son limitadas y presentan altos costos.

- Desarrollar una alternativa que pueda sustituir a las estufas convencionales de leña u otros tipos, las cuales pueden representar una amenaza para la salud humana.
- Con base al análisis matemático e investigación, determinar aquellos materiales que resulten adecuados para implementar en la olla, sin descuidar aspectos como eficiencia, salud y beneficio.
- Presentar alternativas de cocción que tengan un impacto positivo con el medio ambiente, aprovechando los recursos naturales renovables que tenemos a nuestro alcance.

Materiales y métodos

A. *Diseño y materiales*

El diseño de la olla solar está inspirado en un previo diseño Bhave & Kale (2020) [4]. Fueron agregados ciertos elementos, para poder utilizar de manera efectiva el CTA-25. El diseño consta de 3 partes principales, la caja de cocción, el recubrimiento inferior y la tapa. La caja de cocción fue totalmente diseñada por Bhave & Kale, mientras que el recubrimiento inferior y la tapa fueron diseñados por parte nuestra. La olla funciona de la siguiente manera: la caja de cocción se carga mediante un disco parabólico, haciendo uso de la sal solar, que se encuentran en contacto con las aletas verticales hechas de aluminio (figura 1a), son capaces de conducir el calor hasta la



parte superior donde se realiza la cocción. El recubrimiento inferior y la tapa, que se observan de mejor manera en la figura 1b, cuentan con una capa exterior hecha de una aleación de acero inoxidable AISI 316-Ti pues es un material usado comúnmente en la cocina [6] y la capa interior hecha de CTA-25. La tapa y el recubrimiento inferior ayudan a mantener la olla con el calor necesario para cocinar durante más tiempo, de manera que sea posible cargar la olla durante el día y ser usada tiempo después durante la noche.

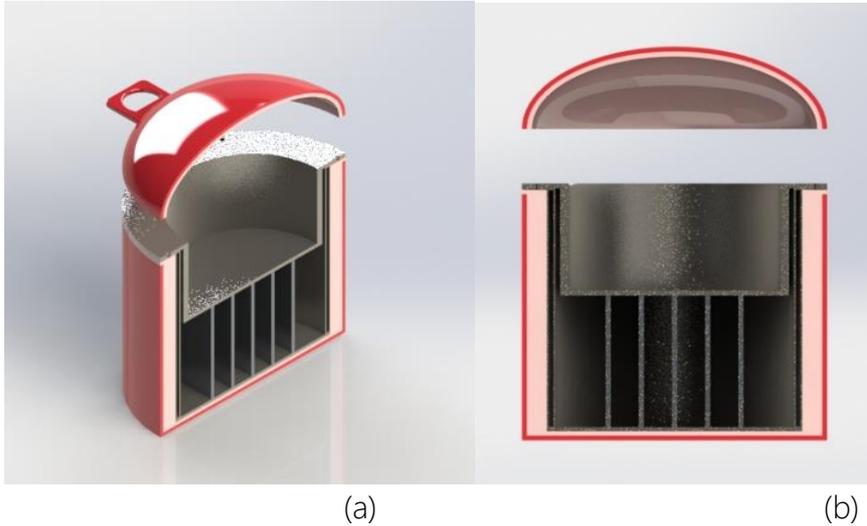


Figura 1. a) Vista isométrica del diseño de la olla solar. b) Vista frontal del diseño de la olla solar. Fuente: Elaboración propia.

B. Modelo matemático

Para determinar la mejora en el aislante con el material sintético CTA-25, se usarán las siguientes mediciones:

- Flujo de calor

El flujo de calor es la medida que relaciona la diferencia de temperatura con el coeficiente de conductividad térmica, por lo que refleja la cantidad de calor que pasa por la caja térmica [7].

$$Q = \frac{k (\Delta T)}{L} \quad (1)$$

Donde Q es el flujo de calor (W/m^2), k representa la constante de conductividad térmica (W/mK), y ΔT la diferencia de temperatura (Kelvin).

- Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección se refiere al calor que se pierde de la estufa hacia el ambiente, tomando en cuenta la diferencia de temperatura entre estas [8].

$$R = kA(T_{superficie} - T_{ambiente}) \quad (2)$$

En el que R es la medida de la transferencia en Watt, k es la constante de conductividad térmica (W/mK), A es el área superficial (m^2), y t la temperatura (Kelvin).

- Resistencia térmica



La resistencia térmica se refiere a la capacidad de un material de resistir el calor. Será la última medición para determinar la efectividad del CTA-25 como aislante para la estufa.

$$R = \frac{L}{k} \quad (3)$$

Donde R es la resistencia térmica (W/K), L es el grosor del aislante (m) y k la constante de conductividad térmica del material (W/mK).

Para hacer estos cálculos, se usarán los valores de la Tabla 1 y 2:

Tabla 1: valores y propiedades térmicas de los materiales

PROPIEDADES	ROCKWOOL	CTA-25
Constante de conductividad térmica (W/mK)	0.035	0.023
Grosor promedio del aislante (m)	0.0075	0.0075
Área superficial (m ²)	0.145085365	0.145085365
Temperatura ambiente (K)	293.15	293.15
Temperatura interna esperada (K) [9]	523.15	523.15

Tabla 2: Condiciones solares en Guatemala y México

	Corredor seco, Guatemala	Región centro, México
Irradiancia (kWh/m ²)	5.3 [9]	5.6 [10]

Resultados y discusión

Por medio de los cálculos sobre ambos materiales aislantes, es evidente que la implementación del CTA-25 en la estufa solar mejoraría su funcionamiento, especialmente porque permitiría reducir la cantidad de calor que se pierde por convección. El flujo por medio del CTA-25 es 34.3% menor que el del Rockwool, por lo que la transferencia de calor se reduce 0.4004 Watts, que es una diferencia significativa (Tabla 3). Además, el CTA presenta una resistencia térmica mayor, que permitiría que la olla se mantuviera en su óptimo funcionamiento durante más tiempo después de la última carga y en las horas de uso en las que no hay sol.

Tabla 3: Datos procesados de los materiales

VALORES	ROCKWOOL	CTA-25
Flujo de calor (W/m ²)	1073.33	705.333
Transferencia de calor por convección (W)	1.1679	0.76750
Resistencia térmica (W/K)	0.2145857	0.3260869

En cuanto al funcionamiento de estas estufas, se evaluó de acuerdo con las especificaciones planteadas por M. González Avilés et al [11] en las que se hace



referencia al alimento que se cocina y la irradiación en el área. Para esto, se usaron los datos proporcionados en el experimento de calentamiento de agua de Bhave & Kale [5], que se usaron como estándares y donde solo se varió las diferentes irradiaciones. Según estos cálculos teóricos, tanto el potencial de cocción estándar como la eficiencia térmica serían más altos en Guatemala, donde la irradiación solar es ligeramente más baja que en el centro de México. Sin embargo, el funcionamiento de ambas es bastante similar ya que la irradiación es muy parecida (Tabla 4).

Tabla 4: Funcionamiento de la estufa en Guatemala y México [11]

	Corredor seco, Guatemala	Región centro, México
Potencial de cocción estándar	221.15	209.3
Eficiencia térmica	2.096	1.98

En futuras investigaciones, estos resultados deberían corroborarse experimentalmente ya que las condiciones estándar con las que se manejan estos resultados hipotéticos no siempre son las mismas que en la realidad. Especialmente en diseños como éste, que dependen no solo del funcionamiento correcto de los materiales, sino de las condiciones atmosféricas del área, la experimentación puede ser muy valiosa para reportar datos más exactos. Además, se pueden tomar en cuenta otras características para el cálculo del funcionamiento de la estufa, como las horas de irradiación solar al día, la ubicación geográfica de ambos países, y como es un proyecto con fines sociales, también se podría hacer una comparación económica entre otras estufas con uso similar.

Conclusiones

Mediante los modelos matemáticos realizados se logra concluir que el uso del material CTA-25 representa una mejora importante en el rendimiento de la olla, destacando la retención de calor durante las horas donde ya no hay luz solar. En las zonas analizadas de Guatemala y centro de México, el potencial de cocción y la eficiencia térmica resultan positivos, esto gracias a las condiciones climáticas y geográficas parecidos entre ambas zonas. La implementación de estas ollas orienta a las personas a una alternativa de cocción sustentable, y al presentarse como un aparato autosuficiente, hace que sea accesible para aquellos sectores que no cuentan con los recursos básicos necesarios de electricidad y energía.

Referencias

- [1] I. N. d. E. Guatemala, "Principales resultados del censo 2018," Gobierno de la República de Guatemala, Ciudad de Guatemala, 2018.
- [2] CONEVAL, "Medición de la Pobreza," CONEVAL, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezalInicio.aspx>. [Último acceso: septiembre 2020].



[3] T. Watkins et al., "Insulated Solar Electric Cooking – Tomorrow's healthy affordable stoves?," *Dev. Eng.*, 2017.

[4] A. G. Bhave and C. K. Kale, "Development of a thermal storage type solar cooker for high temperature cooking using solar salt," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 208, p. 110394, 2020.

[5] C. Chen and L. Hu, "Super Elastic and Thermally Insulating Carbon Aerogel: Go Tubular Like Polar Bear Hair," *Matter*. 2019.

[6] Chilexpo, "Aleación 316-TI" sf. [En línea]. Disponible en: <https://www.chilexpo.com/calidad/316ti/> [Último acceso: octubre 2020].

[7] J. Montieth, "How to calculate Heat Flux," 2018. [En línea]. Disponible en: <https://sciencing.com/calculate-heat-flux-6494497.html> [Último acceso: octubre 2020].

[8] B. Smith, "How to calculate Heat Transfer," 2017. [En línea]. Disponible en: <https://sciencing.com/calculate-heat-transfer-4894948.html> [Último acceso: octubre 2020].

[9] Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, "Energía Solar en Guatemala," Gobierno de la República de Guatemala, Ciudad de Guatemala, 2018.

[10] Smartbitt, "Radiación Solar," sf. [En línea]. Disponible en: <http://energiasolar.smartbitt.com/radiacion-solar/> [Último acceso: octubre 2020].

[11] M. González-Avilés, O. R. Urrieta, I. Ruiz, and O. M. Cerutti, "Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism," *Energy Sustain. Dev.*, 2018.

[12] Y. I. A. Cordova Ramírez, "Uso de la energía solar en el corredor seco de Guatemala," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.

[13] N. N. ElDin, A. Abdou, and I. Abd ElGawad, "Biomimetic potentials for building envelope adaptation in Egypt," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 34, pp. 375–386, 2016.

[14] A. d. R. Ovalle Herrera, "Mapa Morfológico de Guatemala," INSIVUMEH, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://insivumeh.gob.gt/>. [Último acceso: abril 2020].

[15] S. Metwally, S. Martínez Comesaña, M. Zarzyka, P. K. Szewczyk, J. E. Karbowniczek, and U. Stachewicz, "Thermal insulation design bioinspired by microstructure study of penguin feather and polar bear hair," *Acta Biomater.*, 2019.

[16] G. Gius, M. Walker, A. Li, N. J. Adams, R. Van Buskirk, and P. Schwartz, "Hot diodes!: Dirt cheap cooking and electricity for the global poor?," *Dev. Eng.*, vol. 4, p. 100044, 2019.



DISEÑO Y VALORACIÓN EXERGÉTICA DE UNA ESTUFA SOLAR DE ALTA EFICIENCIA

Abdiel Gómez Mercado, Luis Gabriel Ñonthé Chávez

^a División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

^b División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Resumen

En las actividades esenciales del hogar podemos encontrar la cocción de los alimentos que en lo general se realiza con combustibles no renovables como lo es la electricidad o gas en las zonas urbanas y además de estos podemos añadir la biomasa (leña) en las zonas rurales, teniendo como consecuencia desde enfermedades respiratorias, inaccesibilidad de algunos de estos y también impacto en la economía familiar. Por este motivo una de las alternativas muy viable es la utilización de las energías alternas como es el aprovechamiento de la energía solar con el diseño de una estufa solar de concentrador parabólico, ya que con dicha configuración se puede desde hornear hasta freír alimentos y obtener altas temperaturas en comparación con tipos de estufa solar. Se realiza el diseño en Solidworks del concentrador de 1.5 m de diámetro y un punto focal a 0.5 m y una altura de la estructura de 0.79 m, este dispositivo se realiza para obtener el mayor aprovechamiento de la energía solar en comparación con otros tipos de estufa solar, la irradiación recibida en el estado de Hidalgo la cual se encuentra en la media nacional de aproximadamente 6.4 kWh/m² y tomando en cuenta un horario de 8 am a 2 pm, utilizando software para la simulación del proceso térmico.

Palabras clave: exergía; parabólico; solar.

Introducción.

El uso de combustibles no renovables para satisfacer las necesidades en los hogares ha sido inevitable, como el gas, el cual a veces es menos accesible para las familias por lo cual también se opta por la leña atrayendo con esto daños al medio ambiente y causando enfermedades respiratorias a la población [1]. En México en el año 2017 se registraron 11 727 muertes por contaminación del aire del hogar y más en concreto en el estado de Hidalgo se registraron 400 muertes [2].

Desde hace mucho tiempo atrás la energía solar se ha utilizado de diversas formas desde el secado de la ropa hasta la deshidratación de alimentos, así como la cocción de estos mismos [3]. La radiación solar en México tiene un promedio anual de 4.4 kWh/m² por día en la zona centro a los 6.3 kWh/m² en el norte del país [4], en particular en el estado de Hidalgo se tiene un promedio 6.441 kWh/m².

Las estufas solares se pueden clasificar en directas e indirectas y esto depende del mecanismo de transferencia de calor hacia el medio de cocción, las estufas solares directas a su vez se clasifican en tres tipos que son tipo caja, panel y concentrador; este tipo de estufas solares usan radiación solar directa para el proceso de cocción mientras que las estufas solares indirectas usan un fluido para la transferencia de calor



para realizar la transferencia del calor del colector hacia el punto en el cual se realiza la cocción [5].

Se han realizado varios estudios de investigación con respecto a las estufas solares tipo caja se obtuvo un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales, en el cual fueron considerados los vidrios de la tapa, la tapa del recipiente y el fluido que fue el agua [6].

En uno de los primeros análisis exergético a una estufa solar parabólica, resultó que la eficiencia energética era bajo con una eficiencia exergética aún mucho menor a la eficiencia energética, debido principalmente al escape de una gran cantidad de insolación que no se absorbe, adicionalmente por la pérdida de calor al ambiente y a la degradación de la insolación absorbida en las superficies del reflector y la olla de cocción, revelando en su investigación que manipulando la apertura y profundidad se puede obtener una eficiencia energética mayor al 18% y una eficiencia exergética mayor al 1.6% [7].

El resultado de otras investigaciones muestran que las estufas solares de tipo concentrador parabólicos son las más eficientes con una eficiencia del 14% al 18%, los de tipo caja suelen ser las más baratas de fabricar pero la cocción de los alimentos son tardados por la baja temperatura que este dispositivo otorga y no se puede freír o asar a la parrilla, en los de tipo panel se ve afectado por las condiciones como nublados además de que tarda para su calentamiento e igual que anterior no se puede freír y asar, en lo que refiere a los concentradores parabólicos ofrecen un tiempo de cocción corto por las altas temperaturas que este otorga, tanto puede hornear así como freír [8].

En la investigación realizada por González [9] muestra una evaluación a las tres diferentes tipo de estufas solares directas tomando en cuenta tres factores que son la eficiencia energética, facilidad de uso y accesibilidad económica en el cual los resultados arrojan que el de tipo concentrador parabólico es de mejores resultados de acuerdo a los factores de evaluación, esto nos sirve en mucho para una mejor presentación de las estufas solares y su aceptación. Por estas razones se hace el diseño de una estufa solar parabólica.

Metodología.

El diseño de la estufa solar es de tipo directo de concentrador parabólico, para lo cual se toma en cuenta la ecuación general de la parábola para el diseño del colector con vértice en el origen y donde a es la distancia focal.

$$y = \frac{x^2}{4a} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la relación entre el área de apertura del colector y el área del receptor que es la olla de cocción de los alimentos, el cual lo denotamos como C de la siguiente manera.

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (2)$$



Para conocer la potencia que nos entrega la irradiación es igual a la irradiación solar por metro cuadrado, como se observa en la siguiente ecuación [10].

$$P = \frac{A_a I}{C} = \frac{\pi D^2}{4C} I \quad (3)$$

En cuanto a pruebas estandarizadas para las estufas solares y para conocer la potencia de cocción, nos enfocamos en los establecidos en la American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) por sus siglas en inglés, propone para las pruebas a estos dispositivos en el cual establece como variables no controladas a las ambientales y las controladas las del diseño de la estufa solar. Nos proporciona la ecuación para el cálculo de la potencia de cocción dada por el cambio de temperatura del agua en un lapso no mayor a 10 minutos (600 segundos), multiplicado por la masa y el calor específico del agua contenido en la olla de cocción divididos por el lapso de tiempo [11].

$$P = \frac{mC_v(T_2 - T_1)}{600s} \quad (4)$$

En donde el calor específico $C_v = 4.8182 \frac{kJ}{kg^\circ C}$, la masa del agua m en kg, temperatura inicial y final del agua respectivamente T_1 y T_2 en $^\circ C$.

Igualando las ecuaciones 4 y 3 tenemos.

$$\frac{\pi D^2}{4C} I = \frac{mC_v(T_2 - T_1)}{600s} \quad (5)$$

Tomando en cuenta la primera ley de la termodinámica en la forma del balance de energía que es para cualquier sistema que experimenta cualquier proceso se expresa de la siguiente forma [12].

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E \quad (6)$$

Como ΔE representa el cambio de energía interna del sistema, la ecuación anterior la podemos escribir en su forma de tasa.

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = \Delta E / \Delta t \quad (7)$$

Para nuestro estudio es conveniente escribirlo de la siguiente manera.

$$\dot{\mathcal{E}}_{entrada} - \dot{\mathcal{E}}_{salida} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (8)$$

Igualando la ecuación anterior a la potencia obtenemos lo siguiente.

$$\dot{\mathcal{E}}_{entrada} - \dot{\mathcal{E}}_{salida} = \frac{mC_v dT}{dt} \quad (9)$$

En donde dT es el diferencial de la temperatura y dt del tiempo, al solucionarla por el método de diferencias finitas obtenemos [13].

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{(i+1)} - T_i}{\Delta t} \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación 10 en la ecuación 9 y despejando la variable que predice la temperatura en el instante siguiente que depende de los componentes de la estufa solar, así como la irradiación tenemos la siguiente ecuación.



$$T_{(i+1)} = T_i + \frac{\Delta t}{mC_v} (\mathcal{E}_{entrada} - \mathcal{E}_{salida}) \quad (11)$$

En el análisis de la eficiencia energética está definida como la relación de la energía de salida entre la energía de entrada como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{\text{energía_de_salida}}{\text{energía_de_entrada}} = \frac{E_o}{E_i} = \frac{mC_v(T_2 - T_1)}{IA_a(t_2 - t_1)} \quad (12)$$

La exergía se define como el potencial de trabajo útil de una cantidad dada de energía de alguna fuente específica y está dada por la exergía de salida entre la exergía de entrada como se muestra en la siguiente ecuación [14].

$$\psi = \frac{E_{so}}{E_{si}} = \frac{mC_v \left[(T_2 - T_1) - \left(T_a \ln \frac{T_2}{T_1} \right) \right]}{IA_a \Delta t \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4T_a}{3T_s} \right)} \quad (13)$$

Desarrollo.

Para realizar el diseño de la estufa solar se ocupa software libre como lo es parábola calculator 2.0 para el diseño de la parábola con un diámetro de 1.5m, un punto focal de 0.5m, una altura de 0.28m para después realizarlo en Solidworks como se muestra en las siguientes figuras.

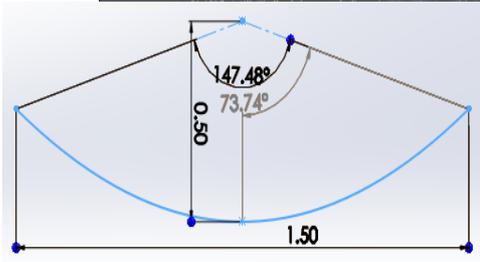
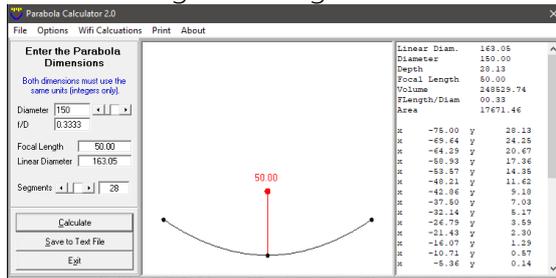


Figura 1. Cálculo de los puntos de la parábola.

Figura 2. Diseño de la parábola en Solidworks.

El diseño de la estructura de la cocina solar se realiza en Solidworks con 0.79m de altura y 0.83m de profundidad como se muestra en la siguiente figura.

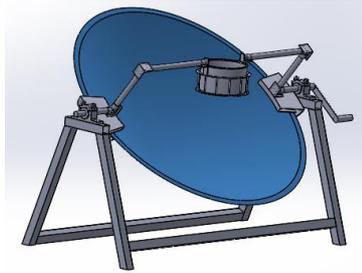


Figura 3. Diseño de la estufa solar en Solidworks.

Se realiza la geometría del colector parabólico y la olla de cocción en Design Modeler de Ansys, para su posterior simulación en Ansys Fluent; así como el trazado de rayos solares con el software libre SolTrace.

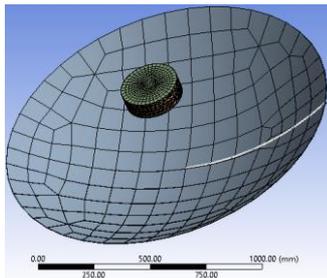


Figura 4. Geometría en Design Modeler.

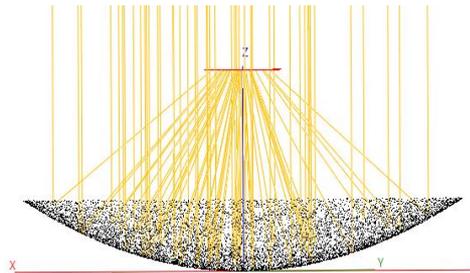


Figura 5. Trazado de rayos solares en SolTrace.

Resultados.

Realizando la simulación en Ansys Fluent del dispositivo, tomando en cuenta la radiación solar con las coordenadas del Instituto Tecnológico de Pachuca latitud 20.083438 y longitud -98.773938 y GMT -6 en un día al azar, con 4 Kg de agua con una temperatura ambiente de 298 K se obtuvo una media de temperaturas del agua de 313 K a los 471 K, como se muestra en las siguientes figuras.

Solar Calculator

Global Position

Longitude (deg)

Latitude (deg)

Timezone (+-GMT)

Starting Date and Time

Day of Year

Day

Month

Time of Day

Hour

Minute

Sunshine Fraction: 1

Direct Normal Solar Irradiation (at Earth's surface) [W/m²]: 885.227

Diffuse Solar Irradiation - vertical surface: [W/m²]: 71.3936

Diffuse Solar Irradiation - horizontal surface [W/m²]: 118.62

Ground Reflected Solar Irradiation - vertical surface [W/m²]: 99.8474

Figura 6. Coordenadas del Instituto Tecnológico de Pachuca.



Figura 7. Simulación en Ansys Fluent.

Comparando analíticamente con las ecuaciones planteadas obtenemos una temperatura de 459 K, con una eficiencia energética de 23%, una eficiencia exergética del 7%, suponiendo que no existen pérdidas en el contorno de la olla de cocción sin pérdida de calor en 40 minutos, habiendo una diferencia del 2.5% entre estos resultados los cuales se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis analítico, en el cual se muestran las temperaturas, eficiencia energética y eficiencia exergética.

Ti empo (s)	T _(i+1) °C	T _(i+1) °C						
0	5.00	66	9.14	13	13.28	19	42	157.
60	9.01	72	3.15	13	17.29	20	43	161.
120	3.03	78	7.16	14	21.30	21	44	165.
180	7.04	84	1.18	15	25.32	21	45	169.
240	1.05	90	5.19	15	29.33	22	47	173.
300	5.06	96	9.20	16	33.34	22	48	177.
360	9.08	10	3.21	16	37.35	23	49	181.
420	3.09	10	7.23	17	41.37	24	50	185.
480	7.10	11	01.24	18	45.38			
540	1.11	12	05.25	18	49.39	ψ (exergía)	η (energía)	
600	5.13	12	09.26	19	53.40	0.0	0.	
						7880613	2301615	

Conclusiones.



En el presente trabajo el diseño propuesto muestra resultados con poca variación entre la simulación y el estudio analítico, se consideró un sistema adiabático puesto que no se tomó en cuenta las pérdidas en el balance de energía, obteniendo una diferencia del 2.5% entre estos dos resultados, en comparación con trabajos realizados con anterioridad los cuales dieron como resultado una eficiencia energética del 14% al 18% contrastándolo con nuestro resultado del 23 % y el 7% de eficiencia exergética, las cuales, en un futuro en el desarrollo y experimentación se espera obtener resultados muy cercanos.

Referencias

- [1] L. B. López Sosa, M. Gonzalez Aviles, D. Gomez Perez y S. G. Yuritzi, «Rural Solar Cookers, an alternative to reduce the timber,» *ISES Solar World Congress*, pp. 1593-1602, 2013.
- [2] I. f. H. M. a. E. (IHME), «Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results.,» Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), Seattle, United States, 2018.
- [3] E. A. Rincon Mejia, «Cocinas solares, a la vanguardia en México,» *Revista Solar*, pp. 2-10, 2008.
- [4] I. d. I. Electricas.
- [5] M. Z. Mohammadreza Sedighi, «A review of direct and indirect solar cookers,» *Sustainable Energy*, pp. 44-51, 2014.
- [6] T.-P. H., «Estudio numérico de eficiencias en estufas solares tipo caja con reflectores internos.,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, pp. 122-128, 2013.
- [7] R. Petela, «Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker,» *Solar Energy*, pp. 221-233, 2005.
- [8] M. R. M. K. Amal Heres, «Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 421-432, 2018.
- [9] L. B. L. S. H. S. C. Mauricio González-Avilés, «Evaluation framework for small-dimension solar cooker,» de *Acta Universitaria*, 2017.
- [10] H. Pérez Montiel, *Física General*, México: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [11] A. S580.1, ASAE S580.1, 2013.
- [12] M. K. Yunus A. Cengel. Michael A. Boles, *Termodinámica*, México: Mc Graw Hill, 2019.
- [13] N. Ramirez, Á. Jaramillo y R. Dorantes, «Cálculo y diseño de una estufa solar parabólica para la cocción de alimentos,» *Energías renovables para la sustentabilidad*, vol. 1, nº 1, pp. 163-168, 2015.



- [14] O. R. U. I. R. O. M. C. Mauricio González-Avilés, «Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism.,» *Energy for Sustainable Development Volume 45*, pp. 135-141, 2018.



CONSTRUCCIÓN, CARACTERIZACIÓN, MODELO FÍSICO Y SIMULACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE AIRE DE TIPO PLANO Y PASO PARALELO DE FLUJO

Gonzalo Durán^{a*}, Miguel Condori^b

^aINENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Mail: gonzalo.jose.duran@gmail.com

^b INENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Resumen

Se presenta la construcción, caracterización, modelo físico y simulación de un prototipo de colector solar plano, con paso paralelo de flujo de aire, destinado al secado solar industrial de productos agrícolas. Las dimensiones son 9.76 m x 0.94 x 0.1 m. El cuerpo está construido en chapa cinc plegada, aislación en lana de vidrio de 0.05 m, una chapa ondulada pintada en negro mate de absorbedor, y una cubierta de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor, con tratamiento UV.

Los ensayos se realizaron en el campus del INENCO, UNSa (Salta, Argentina). Se midieron temperatura ambiente y temperatura de flujo en seis puntos, radiación solar global sobre plano de colección, y velocidad de flujo. La eficiencia térmica es del 60%, flujo de 0.25 kg/s a 0.47 kg/s, y delta T de flujo de 20 a 25°C, con flujo de calor útil de 2500 a 4500 J/s. Se simuló el prototipo tomando como entrada temperatura ambiente, flujo de aire y radiación solar; contrastando los resultados medidos y simulados de temperatura de flujo, observando ajuste adecuado

Palabras clave: secado solar, simulación, colector solar de aire, Simusol .

Introducción:

En el diseño de colectores solares de aire (SAH) de eficiencia mejorada se aplican diversas estrategias para incrementar la transferencia de calor desde el absorbedor al fluido circulante.

El uso de chapas onduladas como absorbedor presenta varias ventajas. La más destacable es el incremento en 10% del área de absorbedor respecto al de una chapa plana. La presencia de las ondulaciones otorga mayor rigidez estructural. Además, la transferencia de calor mejora si se orienta el absorbedor con las ondulaciones transversales a la dirección del flujo de aire (Romhdame, [1]; Plotter, [2]; Metwally et al., [3], Wijeyesundera, et al [4], Karsili, et al [5]). Finalmente, pueden plantearse modificaciones a la circulación del flujo mediante el paso doble de flujo, ya sea en forma paralela o en contra corriente.

Construcción del prototipo:

Las dimensiones son 9.76 m x 0.94 x 0.1 m. El cuerpo está construido en chapa cinc plegada, aislado con lana de vidrio de 0.05 m. Como absorbedor una chapa ondulada pintada en negro mate. La cubierta es una hoja de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor, con tratamiento UV. El cerramiento de la cubierta y de los módulos entre sí es hermético, utilizando pegamento y remaches POP. La figura 1



muestra un esquema de sección transversal con elementos constituyentes, y las figuras 2 a 5, instancias en la construcción del prototipo.

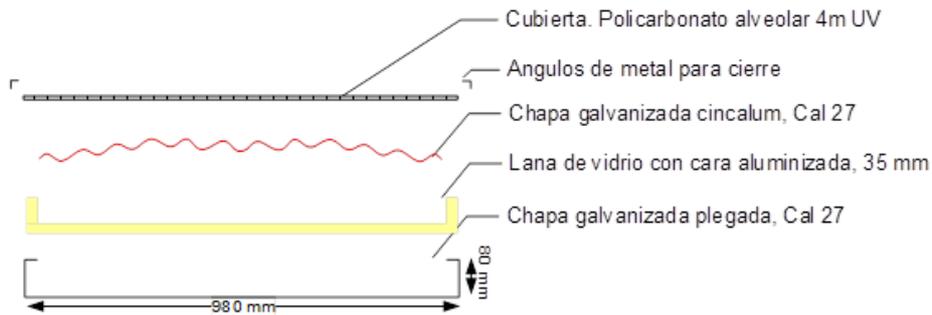


Figura 1. Esquema de sección transversal del colector.

Ensayos del prototipo:

Se ensayó el prototipo durante catorce días, en los meses de junio y diciembre en el campo experimental del INENCO, UNSa, Salta (lat: 24°48" S, long: 65°25" OE), desde la 11:00 (hora local), hasta hora 15:00, en un lapso de cuatro horas alrededor del mediodía solar. El prototipo fue colocado hacia el norte, en un soporte que permite movimiento acimutal.

Se midieron temperatura ambiente y temperatura de flujo en seis puntos, radiación solar global sobre plano de colección, y velocidad de flujo



Figuras 2 a 5. Construcción del prototipo.

Resultados. Análisis del lote de ensayos

La tabla 1 muestra un resumen de los resultados de flujo, eficiencia, salto térmico ($T_{out} - T_{in}$) y T_{amb} . El cálculo del salto térmico ha sido realizado considerando el valor promedio de las medidas de temperaturas por arriba y debajo del absorbedor tomadas en la entrada y salida del colector.



Las figuras 6 y 7 muestran las medidas de salto térmico y la potencia entregada por el colector, considerando la expresión usual (1). El cálculo de Q_u se realizó considerando el flujo total de aire, m , medido en los puntos de entrada y salida del colector, donde se recogen las contribuciones de cada canal.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

La figura 8 muestra el cálculo de eficiencia, en función del caudal de aire circulante. Los puntos azules indican el valor medio de eficiencia para cada día de ensayo, de acuerdo a lo expresado en la Tabla 1. Al variar el caudal de aire se obtiene una curva parabólica, cuyo ajuste polinomial se muestra con línea sólida.

Se observa que existe un intervalo con caudales que varía de 0.25 kg/s a 0.45 kg/s, donde la eficiencia es máxima, del orden de 0.6 a 0.63. Como es de esperar, caudales extremos llevan a bajos valores de eficiencia, ya que la remoción de calor es deficiente.

Fecha	Caudal (kg/s)	Flujo medio (kg/s)	$T_{amb\ max}$ (°C)	$T_{amb\ in}$ (°C)	$T_{amb\ med}$ (°C)	$T_{amb\ max}$ (°C)	$T_{amb\ in}$ (°C)	$T_{amb\ med}$ (°C)
-6	0.40	0.47	30.54	20.61	25.05	21.40	12.20	18.33
-6	0.50	0.41	27.85	20.95	25.30	24.00	23.00	20.14
-6	0.60	0.52	28.84	20.00	25.09	23.50	23.90	20.34
-6	0.70	0.52	25.25	20.69	23.31	22.50	21.00	21.38
0-6	1.00	0.38	20.40	22.34	21.11	22.50	23.70	21.64
0-6	0.23	0.47	29.85	20.34	26.02	24.20	20.60	27.17
2-6	0.23	0.60	27.62	20.75	27.55	26.50	25.10	21.96
6-6	0.17	0.49	26.85	20.60	27.58	20.00	20.30	26.24
7-6	0.23	0.57	20.95	20.24	25.71	20.20	26.60	28.39
0	1.00	0.63	24.90	20.45	25.01	22.50	27.80	20.32



1	8-12	1	0	0	1	3	9	3	2	3
		.49	.60	2.69	.01	.33	4.30	8.10	1.32	
2	8-12	1	0	0	1	-	1	3	2	3
		.39	.62	6.10	0.15	1.74	4.40	9.60	1.69	
3	1-12	2	0	0	1	9	1	3	3	3
		.3	.58	9.49	.50	5.89	5.00	0.00	3.79	
4	2-12	2	0	0	5	2	4	3	2	3
		.07	.33	0.00	7.74	5.02	5.00	9.00	1.20	

Tabla 1: resultados de eficiencia, salto térmico y temperatura ambiente.

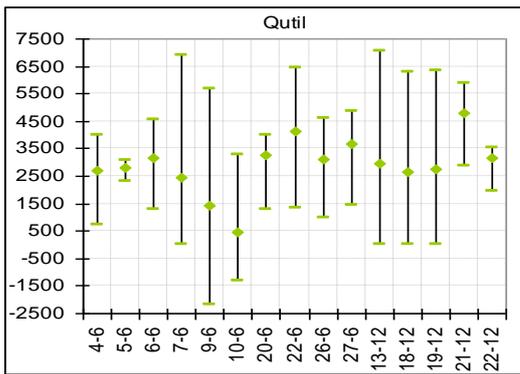
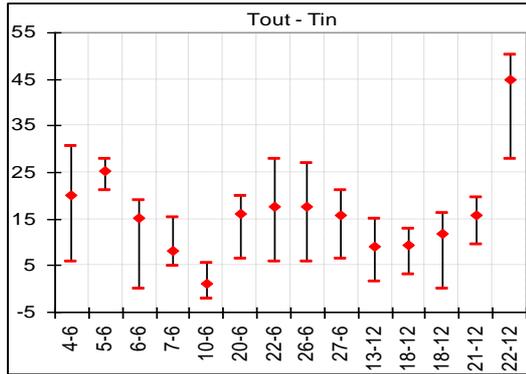


Figura 6. Salto térmico en colector. Figura 7. Potencia generada.

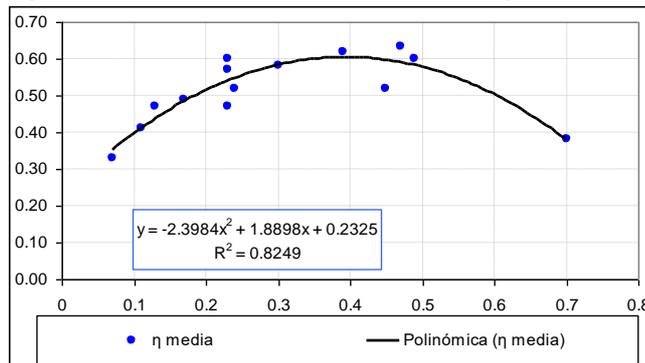


Figura 8. Eficiencia media de colector en función del caudal circulante.

Modelo físico y simulación del prototipo.

Por razones de espacio solo se reseñarán los aspectos fundamentales del modelado. Los balances de energía en las superficies del colector son:



$$\text{Cubierta: } h_{r,p-c} (T_p - T_c) + h_1' (T_{f1} - T_c) = h_w (T_c - T_{amb}) + h_{r-cie} (T_c - T_{amb}) \quad (2)$$

$$\text{Absorbedor: } \frac{m_p C_{p,p}}{W'} \frac{\partial T_p}{\partial t} = S_o (\tau_c \alpha_a) - h_1 (T_p - T_{f1}) - h_2 (T_p - T_{f2}) - h_{r,p-c} (T_p - T_c) - h_{r,p-b} (T_p - T_b) \quad (3)$$

$$\text{Flujo canal superior: } h_1 (T_p - T_{f1}) = m_r C_p / W (dT_{f1} / dz) + h_1' (T_{f1} - T_c) \quad (4)$$

$$\text{Flujo canal inferior } h_2 (T_p - T_{f2}) = m(1-r) C_p / W (dT_{f2} / dz) + h_2' (T_{f2} - T_b)$$

(5)

$$\text{Cuerpo de colector } h_2' (T_f - T_b) + h_{r,p-b} (T_p - T_b) = U_{b-a} (T_b - T_{amb}) \quad (6)$$

Los coeficientes convectivos internos se calcularon mediante Chamoli (2012):

$$Nu = \left(\frac{hD_h}{k} \right) = 0.333 Re_{Dh}^{0.8} Pr^{1/3}, \text{ con } Re_{Dh} = \frac{\dot{m}D_h}{\mu A} \quad (7)$$

Con el método del símil eléctrico se modeló el colector y se simuló con Simusol. Se discretizó el colector en diez volúmenes de control, figura 9.

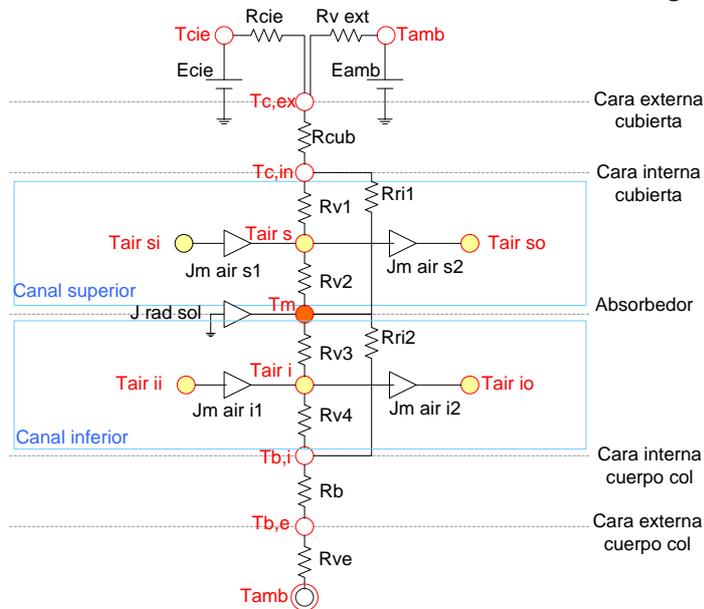


Figura 9. Diagrama de circuito térmico para un volumen de control arbitrario.

Resultados de simulación:

La tabla 2 muestra un resumen de los resultados simulados. Se muestran las eficiencias promediadas en un lapso de una hora (12:40 a 13:40), para los resultados simulados (azul) y los medidos (rojo). De ella, los resultados simulados son comparables a los medidos, con diferencias entre los valores medios diarios menores a 1 °C para la mayor parte del lote de datos. De igual manera, los máximos conciden adecuadamente, aunque la diferencia es mayor, hasta 5 °C.

La figura 10 grafica los valores de eficiencia en función de flujo de aire. Los puntos azules representan los valores de eficiencia en base a datos medidos; y los



puntos violetas los resultados por simulación. Se observa que existe un ajuste de los valores simulados respecto a los medidos, aunque con un sobre dimensionamiento de los resultados simulados, inferior al 10%.

ha	fec ujo	fl	η_s prom	η med	(To- Ti)m-max	(To- Ti)m-med	(To- Ti)s-max	(To- Ti)s-med
6	4- 13	0. 3	0.4	0. 47	30.5	20. 05	29. 09	23. 63
6	6- 11	0. 8	0.3	0. 41	27.8	25. 30	27. 25	24. 18
6	6- 24	0. 2	0.5	0. 52	18.8	15.0 9	18. 84	15. 09
6	7- 45	0. 2	0.6	0. 52	15.2	8.31	10. 92	9.8 0
6	10- 7	0. 9	0.3	0. 38	5.40	1.21	7.0 0	2.8 8
-6	20 23	0. 5	0.5	0. 47	19.8	16.0 2	20. 98	18.1 0
-6	22 23	0. 8	0.5	0. 60	27.6	17.5 5	19. 94	17. 51
-6	26 17	0. 9	0.4	0. 49	26.8	17.5 8	22. 86	19. 83
-6	27 23	0. 3	0.5	0. 57	20.9	15.7 1	21. 12	16. 24
12	13- 47	0. 48	0.6	0. 63	14.9	9.01	16. 62	9.7 6
12	18- 49	0. 4	0.6	0. 60	12.6	9.3 3	13. 58	10. 59
12	18- 39	0. 3	0.6	0. 62	16.1	11.7 4	18. 91	12. 63
12	21- 3	0. 78	0.5	0. 58	19.4	15.8 9	20. 66	16. 64
-12	22 07	0. 1	0.3	0. 33	50.0	45. 02	47. 71	39. 40

Tabla 2: Resumen de resultados promedios. Azul: simulados. Rojo: medidas.

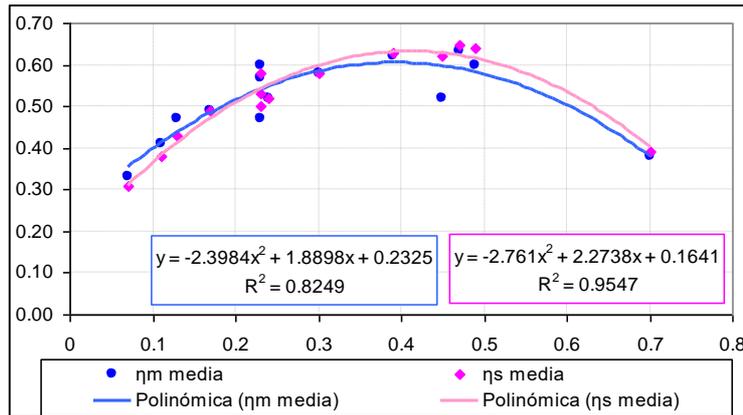


Figura 10. Eficiencia medida y simulada en función del caudal de aire en colector.

Conclusiones.

Se presentó el diseño, la construcción y los ensayos realizados sobre un prototipo de colector solar de aire, con absorbedor de chapa galvanizada ondulada, y paso paralelo de aire por arriba y debajo del absorbedor. De acuerdo a lo observado, y considerando los resultados obtenidos en este prototipo y en la bibliografía, el paso paralelo del flujo de aire por arriba y debajo del absorbedor lleva mejorar el área de contacto superficial del flujo circulante con el absorbedor, incrementando, de esta manera la eficiencia térmica del colector solar de aire.

Se ha presentado también los modelos físicos y la simulación computacional del colector. Se observa un ajuste adecuado, aunque con ligeros sobredimensionamientos, entre los resultados medidos y simulados.

Referencias:

- Ben Slama Romdhame. (2007). "The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer". *Solar Energy* 81 (2007) 139–149
- Plotter K., Sippel C.M., Beck A., and Fricke A (1999). "Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors". *Solar Energy* Vol. 67, Nos. 1–3, pp. 35–52, 1999.
- Metwally M. N., Abou-Ziyan H. Z., El-Leathy A.M. (1997). "Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs". *RenewableEnergy*, Vol 10, No 4, pp 519-537.
- Wijeyesundera NE, Tyioe LE, 1982. "Thermal performance study of two pass solar air heaters". *Solar Energy* 28(5), 363–380.
- Karsili, S: Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy* 32 (2007) 1645–1660
- Chamoli. S, Chauhan. R, Thakur. NS, Saini, JS (2012). A review of the performance of double pass solar air heater. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 481-492. Elsevier.



OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES CONVECTIVOS Y DIFUSIVOS PARA LA CARNE DESHIDRATADA (CHARQUI)

Gonzalo Durán^{a*}, Federico Albesa^b, Fabiana Altobelli^b y Miguel Condorí^b

^aINENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Mail: gonzalo.jose.duran@gmail.com

^b INENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.

Resumen

La simulación del secado de alimentos requiere disponer de información sobre el comportamiento del producto y las variables del proceso. Entre los parámetros a considerar se encuentran los coeficientes difusivos y convectivos, vinculados a las propiedades de transporte de flujos, y que se obtienen mediante el análisis de escala o de manera experimental. A escala de laboratorio se ensayó un deshidratador de carne para la obtención de Charqui, con seguimiento de las variables del proceso: temperatura, peso y humedad. Mediante análisis de imágenes se calculó las áreas de los productos frescos y secos. Con ello se obtuvieron los parámetros AtHd (coeficiente de difusión) y AtHc (coeficiente convectivo), para carne.

Palabras clave: secado, charqui, coeficiente convectivo, coeficiente difusivo.

Introducción.

El secado solar es una de las formas de conservación de alimentos más antiguas, y su uso en el Noroeste Argentino es amplio. Los fines perseguidos son siempre similares: la conservación, preparación y posterior comercialización de los productos obtenidos, ya sean de origen animal o vegetal. El INENCO viene trabajando en el tema desde hace tiempo. En particular, los autores de este trabajo vienen realizando aportes al diseño y desarrollo de secadores solares pasivos (Duran, Condorí, & Altobelli, 2015; Duran & Condorí, 2006, 2007).

La simulación del secado de alimentos requiere disponer de información sobre el comportamiento del producto y su interacción con el flujo de aire seco. Para simular adecuadamente el proceso de secado, es necesario conocer las variables intervinientes, como así también las ecuaciones que las vinculan. Estas últimas han sido poco estudiados para productos de escala rural y escasa comercialización, como el charqui (Duran y Condorí, 2006) (Duran et.al, 2008). Por ello es de interés la determinación experimental de los parámetros del proceso de secado, ajustar el tamaño y carga del secador; disminuir los tiempos de secado, mejorar en la calidad final y reducir pérdidas de producto. A escala del productor, estos aspectos redundan en mejoras económicas (Cruz et. al, 2014).

El objeto del trabajo es determinar experimentalmente los coeficientes convectivos AtHc y difusivos AtHd que intervienen en el deshidratado de carne, mediante una serie de ensayos de secado de carne a escala de laboratorio.



La importancia en la determinación de los coeficientes convectivos y difusivos en el secado de carne se debe a que estos parámetros impactan directamente en la predicción de la pérdida de peso durante el secado. La difusividad afecta el crecimiento bacteriano, ya que controla el movimiento del agua hacia la superficie del producto. Al mismo tiempo, la actividad superficial del agua, que afecta fuertemente el crecimiento bacteriano, se determina por el balance entre la evaporación de agua y el movimiento interno de agua a la superficie. A lo anterior se debe agregar el efecto térmico de la transferencia de calor desde el fluido al producto. Con ello, es de interés conocer una estimación del coeficiente convectivo asociado con el intercambio de energía entre fluido y producto, ya que este fenómeno va de la mano con la difusión de agua desde el producto al aire.

La evolución de la humedad y temperatura durante el secado son indicadores de la calidad y seguridad de los alimentos. Diversos estudios han mostrado que los gradientes de temperatura en el producto son importantes en el secado en aire (Arzan et al, 1967). En Thiagarajan et al. 2008, se estudiaron las características de secado de láminas de carne con flujo de aire forzado. Descubrieron que cuanto mayor es el caudal de aire y menor la humedad relativa, más se estimula el proceso de secado.

En la literatura existen estudios del coeficiente difusivo en carne (H_d). Trujillo et al, 2007 reseña tres modelos matemáticos para determinar H_d a partir de los datos de secado de carne. Establece que el corte de carne, tenor de grasa, y tamaño del animal representan factores de consideración a tener en cuenta en el momento de la predicción del coeficiente difusivo. Al respecto, Karabacak et al, 2014 estudia el secado de carne, considerando variaciones en las condiciones del flujo de aire y la orientación relativa de las fibras del corte. Como conclusión de su estudio, encuentra que los mayores coeficientes difusivos se encuentran en los ensayos de carne magra, con flujo paralelo a las fibras de carne. Los coeficientes encontrados se encuentran en el rango de 1.11×10^{-9} y 5.54×10^{-9} .

Metodología.

Se siguieron los trabajos de (Saravia et al., 2007) y (Durán y Condorí, 2009). Las variables se indican en la tabla 1.

A_t = área superficial de producto, (m ²)	M_t = masa de producto (kg)
M_s = masa seca del producto (kg)	M_{ti} = masa total inicial del producto (kg)
M_l = masa de agua contenida en el producto en función del tiempo ($M_t - M_s$), (kg)	$X = M_l/M_s$ = contenido de humedad del producto en función del tiempo
ΔM_l = disminución de la masa de líquido del producto en función del tiempo (kg)	$R = \Delta M_l / \Delta t = M_s * \Delta X / \Delta t$ = velocidad de secado del producto (kg/s)



T_p = Temperatura del producto (°C)	T_{ce} = Temperatura de entrada del aire (°C)
T_{cs} = Temperatura de salida del aire (°C)	C_{pa} = Calor específico agua líquida (J/kg °C)
C_{ps} = Calor específico masa seca (J/kg °C)	H_{fg} = Calor latente de vaporización a presión atmosférica (J/kg)
H_c = Coeficiente convectivo de producto (W/m ² °C)	H_d = Coeficiente de difusión de vapor de agua del producto al aire (kg/s m ²)
W_c = humedad absoluta en cámara de secado	W_a = humedad absoluta del aire ambiente
W_{ps} = hum abs de saturación del producto	H_{rc} = humedad relativa del aire de la cámara
P_a = presión atmosférica ambiente (Pa)	P_s = Presión de sat de la mezcla vapor – agua (Pa)

Tabla 1. Variables consideradas en el balance. Fuente: Elaboración propia.

El modelo físico de secado que se ha seguido en este trabajo se basa en el planteo de los balances de energía en flujo de aire y producto, con el objetivo de obtener en laboratorio y de manera experimental los coeficientes combinados de convección AtH_c y difusión de vapor de agua, AtH_d .

Como consideraciones generales, el flujo de aire caliente sobre el producto a secar es laminar y forzado. Respecto a la cámara de secado, se considera adiabática y estanca. En cuanto al producto, se considerará que el secado se produce por evaporación del agua libre, considerando la transferencia de calor desde el aire caliente, además del enfriamiento evaporativo consecuencia del secado. Consideraremos variable la capacidad calorífica del producto, en función del flujo de agua evaporado hacia el aire. Supondremos que el área del producto cambia como consecuencia del secado, de igual manera que los coeficientes de convección de calor y difusión de vapor de agua, H_c y H_d , respectivamente.

El proceso está controlado por las diferencias de vapor entre el producto y ambiente (1). El balance de calor (2), tiene en el término de la derecha la transmisión de calor desde el aire al producto. El primer término de la izquierda contempla la energía acumulada en el producto, mientras el segundo término representa la pérdida de energía por la evaporación de agua libre en el producto.

$$R = H_d \cdot A_t \cdot (W_{ps}(T_p) - W_c) \quad (1)$$

$$(C_{ps} + C_{pa} \cdot X) \cdot M_s \cdot (\Delta T_p / \Delta t) - H_{fg} \cdot R = A_t \cdot H_c \cdot (T_c - T_p) \quad (2)$$



Seguendo a (Threkeld, 1973), la humedad absoluta W de una mezcla de aire se puede expresar en función de su temperatura $T(^{\circ}\text{C})$ y H_r :

$$P_s(T) = 610,7 \cdot 10^{(7,5 \cdot T / (273 + T))} \quad (3)$$

$$W_s(P_s, P_a) = 0,622 \cdot P_s / (P_a - P_s) \quad (4)$$

$$W = H_r \cdot W_s(P_s) \quad (5)$$

En base a las ecuaciones (1) y (2) se hallan las expresiones de los productos combinados área – coeficiente convectivo AtH_c y área – coeficiente difusivo AtH_d .

$$AtH_d = -M_s \cdot \Delta X / \Delta t \cdot (W_p(T_p) - W_c) - 1 \quad (6)$$

$$AtH_c = ((C_{ps} + C_{pa} \cdot X) \cdot M_s \cdot (\Delta T_p / \Delta t) + H_{fg} \cdot M_s \cdot \Delta X / \Delta t) \cdot (T_c - T_p) - 1$$

(7)

Secador y equipo de medida utilizado

El secador consta de un forzador de aire y un banco de resistencias eléctricas que controlan el flujo másico y temperatura del aire que ingresa a la cámara de secado. La cámara está aislada térmicamente con lámina de espuma de polietileno (TBA) de 5cm de espesor, y sellada con silicona en sus laterales. En la tapa superior se ha practicado una perforación ($\varnothing = 2\text{mm}$) por donde pasa un hilo que sostiene la bandeja donde se coloca el producto (Figura 1).

Sistema de medición:

Para el registro de temperatura y humedad se utilizaron sensores de temperatura y humedad relativa DHT22, con rango de medidas de 0-100 %HR y -40.0 a 80.0 $^{\circ}\text{C}$ y error ± 2 %HR y ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$, registradas mediante una placa Arduino Nano. El peso del producto, se midió con una balanza digital OHAUS Scout PRO, de 400g con resolución de 0.1g. La temperatura del producto fue medida con una termocupla tipo K, calibrada, y mediante un datalogger NOVUS FieldLogger.

La medida de velocidad de flujo se adquirió mediante un anemómetro TSI VelociCalc. Las medidas se realizaron al final del ducto, con una grilla en forma de cruz tomando cinco valores en los extremos y centro. Se consideró flujo constante en los ensayos, con fin de poder comparar los resultados entre ensayos.

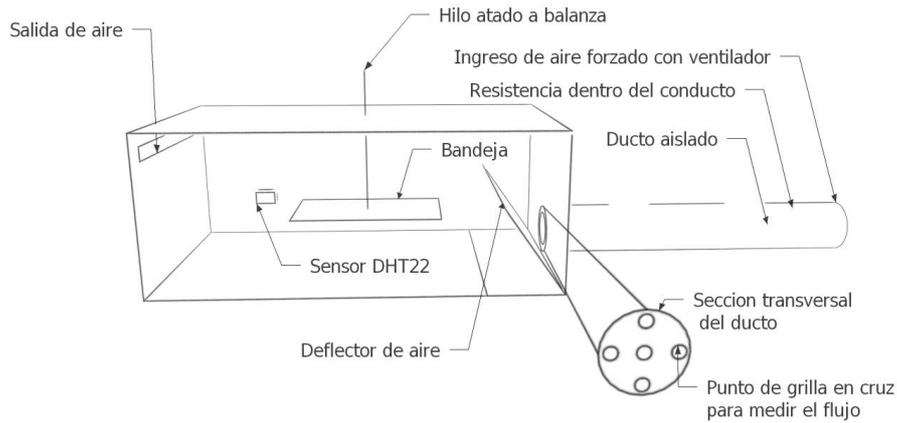


Figura 1 Esquema de disposición de sensores y fotografías del secador de laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

Protocolo seguido para los ensayos:

Con el fin de estandarizar los ensayos, se emplearon bifés de carne, provenientes todos de un mismo corte, siguiendo el protocolo de trabajo que se detalla a continuación:

1. Estabilizar la temperatura deseada en el interior del secador.
2. Salar el bife con exceso de sal entrefina
3. Dejar orear la carne por 30 minutos
4. Raspar el excedente de sal
5. Cargar el bife en la bandeja
6. Pinchar el bife con la termocupla



7. Secado y registro de datos hasta peso constante
8. Obtener peso seco de la muestra en estufa a 102°C

Resultados.

Se realizó tres ensayos, los resultados se sintetizan en Tabla 2 y figuras siguientes.

Estimación del área de los bifes:

El área de los bifes se calcula de manera indirecta. Se compara la imagen del producto con la imagen de una superficie de área conocida, (hoja A4). Conociendo la cantidad de pixeles que abarca una hoja A4 también puede conocerse por comparación el área de otra superficie contenida en la misma imagen. Con GIMP se cuenta la cantidad de pixeles de la hoja, luego se cuenta la cantidad de pixeles del producto, y el cociente es equivalente a la relación entre las áreas.

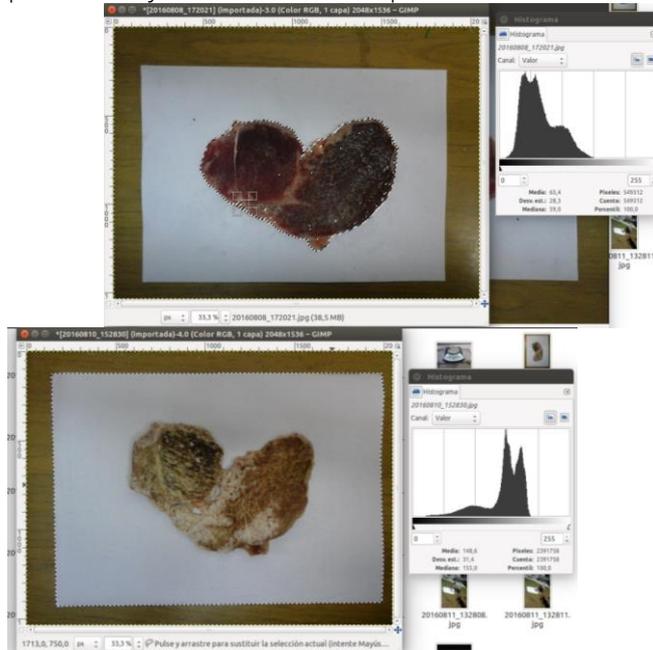


Figura 2 y 3: Captura del procedimiento de cálculo del área de producto correspondiente al segundo ensayo realizado. Fuente: Elaboración propia

		3-Ago			7-Ago		
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
	80.99	86.90	58.90	53.47	54.20	50.30	83.44
	34.46	39.10	5.10	38.85	40.80	34.70	51.18
	28.26	32.24	18.68	36.13	39.72	26.29	45.26
	1.01	3.50	1.00	5.51	6.80	5.00	1.00
	24.39	25.90	23.90	16.66	24.90	15.70	8.40
	0.11 kg			0.12 kg			0.10 kg
	161.19			168.31			136.31
	0.05 kg			0.05 kg			0.04 kg



	108.95 23.97 hs	151.9 42.28 hs	116.35 33.38 hs
°C)	0.0393 kg 0.00675	0.042 kg	0.036 kg

Tabla 2. Variables consideradas en el balance. Fuente: Elaboración propia.

Para el primer ensayo, (3-8), la temperatura media es 34.46 °C para la cámara de secado y 28 °C para producto, en un tiempo de 24 horas de secado, con flujo de aire constante de 6.75 g/s. El peso final, Figura 4, es cercano al 48% del valor inicial y se puede considerar evaporado el contenido de agua libre (ASHRAE, 1989, Cap. 30). La curva del contenido de humedad, Figura 5, muestra un comportamiento similar a la de peso, indicando que no se ha llegado a un punto óptimo de secado durante el primer ensayo. El producto final, aunque seco, presenta maleabilidad, y turgencia, señales que indican un secado incompleto.

En el segundo ensayo (7-8), la temperatura media es 39 °C para la cámara de secado y 36 °C para el producto. El tiempo de secado fue de casi 42 horas, y de la figura 5 se observa que la muestra llega al 42% de su peso inicial. La apariencia del producto obtenido es correcta, notándose más rígido al tacto que en el primer ensayo. Los valores de peso final y peso seco, Tabla 2, ratifican que el secado no ha sido. Los resultados de los dos primeros ensayos muestran que es necesario incrementar la temperatura de producto para poder avanzar en el secado. Para el tercer ensayo se decidió incrementar la temperatura de flujo, a un valor medio de 83°C en ducto, 52 °C en cámara y 45 °C de temperatura de producto, manteniendo constante el flujo de aire en 0.00675 kg/s. El ensayo se realizó durante un tiempo de 33 horas, hasta el 40 % del peso inicial. El incremento en la temperatura del aire permitió llegar a un contenido de humedad equiparable al del segundo ensayo, Figura 5, pero disminuyendo en nueve horas el tiempo de secado. El producto seco se muestra rígido al tacto, y de aspecto, olor y color adecuados al secado de charqui.

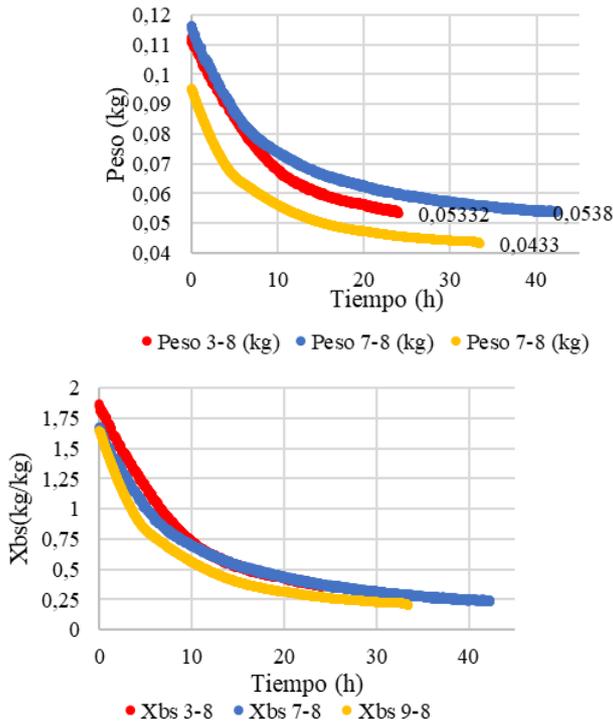


Figura 4: Peso de muestras. Figura 5: Contenido de Humedad en base seca, Xbs.

Los resultados del cálculo del producto $A_{thd}(X)$ se presentan en la figura 6. Se puede observar similares comportamientos para los ensayos 2 y 3, y una tendencia diferente en el primer ensayo. Los resultados obtenidos se muestran acordes a Saravia, et al, 2007, en el sentido de que la variación de los parámetros es producida por cambios en el contenido de agua del producto a lo largo del secado. Esto corre la superficie de evaporación hacia el interior del producto dificultando el proceso de secado.

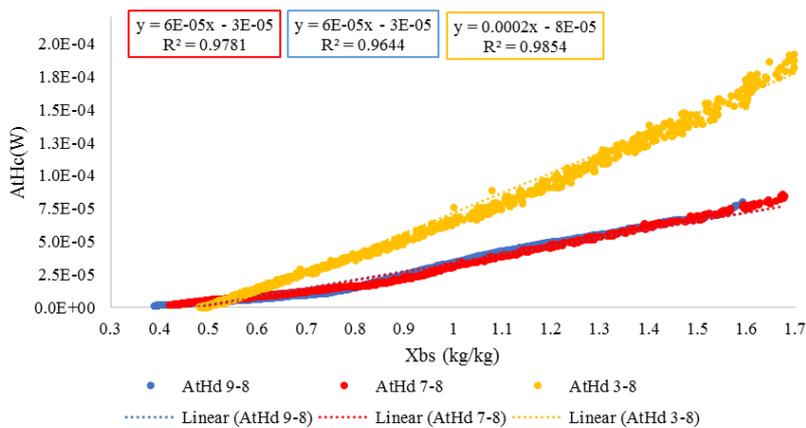
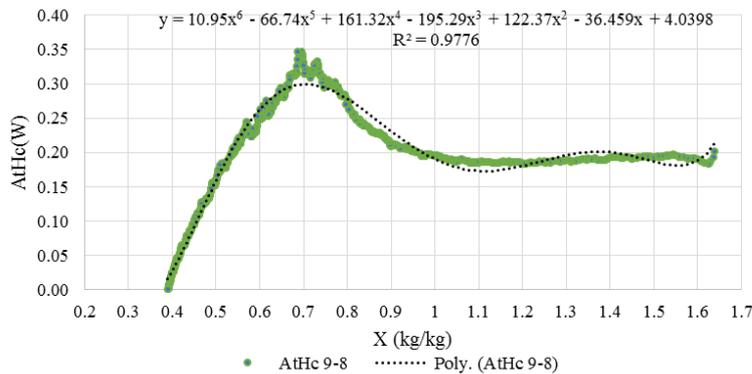
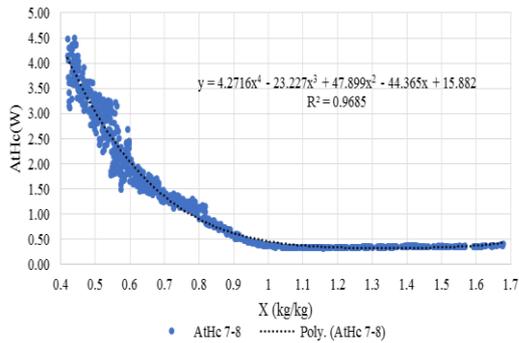
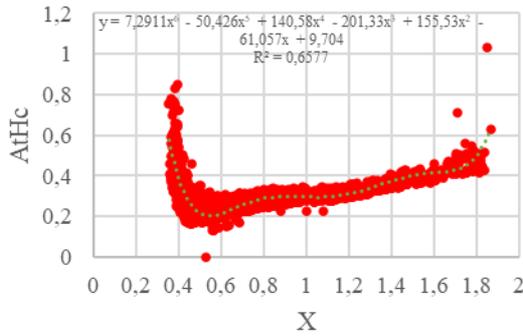


Figura 6: Coeficientes de difusión, A_{thd} .

El producto $A_{thc}(X)$ se presenta en graficas individuales para cada día de ensayo, figuras 7, 8 y 9. De la misma manera que con $A_{thd}(X)$, se puede tener una



idea del valor de hc dividiendo por el valor inicial del área de producto. Se constata que los valores de Hc varían en forma importante, entre 5 y 35 W/m^2 . Cabe recalcar que a medida que se seca el producto, la diferencia entre la temperatura de la cámara y del producto es cada vez más pequeña, por lo que su medida puede tener un error considerable. Esto afecta directamente el cálculo de $AtHc$ (X) donde esa diferencia aparece en el denominador de la ecuación (7).



Figuras 7,8,9: Coeficientes convectivos, $AtHd$.

Conclusiones.

Se presenta en este trabajo un método experimental de obtención de los parámetros combinados $AtHc$ y $AtHd$, y su aplicación al secado de carne (charqui). $AtHc$ representa el factor combinado del área total de producto a secar, con el coeficiente de transferencia de calor por convección desde el aire circulante al producto. $AtHd$ representa el factor combinado del área total de producto a secar



con el coeficiente difusivo que representa la transferencia de vapor de agua desde el producto al ambiente

El método experimental aplicado posibilitó la obtención de los coeficientes difusivos At_{Hd} y coeficientes convectivos At_{Hc} , parámetros de ajuste para simular el proceso de secado. La determinación experimental de los coeficientes se realizó mediante el ensayo en un secador de laboratorio de muestras de carne. La determinación experimental de estos coeficientes arroja una fuerte dependencia con la temperatura, la humedad relativa y los flujos de aire en la cámara de secado, en sintonía con las investigaciones realizadas en Trujillo et al, 2007. Además, se observa que los coeficientes difusivos obtenidos se encuentran en el rango reseñado por Karabacak, et al. 2014. Como trabajo futuro queda aún la inclusión de los parámetros para modelar adecuadamente el secado de carne en un secador solar pasivo.

Referencias:

- Duran, G., & Condorí, M. (2006). Ensayo y modelización de un secador solar pasivo de uso doméstico mediante simusol. *AVERMA*, 10(2), 165–172.
- Duran, G., & Condorí, M. (2007). Ensayo de un secador solar pasivo con chimenea concentrador y extractor eólico destinado a la producción diaria de charqui. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 11, 59–66.
- Durán, G., & Condorí, M. (2009). Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. *AVERMA*, 13, 08.121-08.129.
- Cruz, I., Altobelli, F., Condorí, M. Á., & Durán, G. (2014). Análisis de escenarios para evaluar la implementación de medidas de ahorro energético en el sector tabacalero de la provincia de salta. *AVERMA*, 18, 53–62.
- Arzan, A.A.; Morgan, R.P. A two-region, moving boundary analysis of the drying process. *Chemical Engineering Progress Symposium Series 1967*, 63(79), 24–33.
- Thiagarajan, I.V.; Meda, V.; Panigrahi, S.; Shand, P. Thin-layer drying characteristics of beef jerky. *ASABE=CSBE North Central Intersectional Meeting, Saskatoon, Canada, October 5–7, 2006, Paper No: MBSK 06–214.*
- Trujillo F, Wiangkaew CH, Q. Tuan Pham. Drying modeling and water diffusivity in beef meat. *Journal of Food Engineering* 78 (2007) 74–85
- Meltem Soydan Karabacak, Ali Esin & Deniz Cekmecelioglu (2014) Drying Behavior of Meat Samples at Various Fiber Directions and Air Conditions, *Drying Technology: An International Journal*, 32:6, 695-707, DOI: 10.1080/07373937.2013.855784
- Duran, G., Condorí, M., & Altobelli, F. (2015). Simulation of a passive solar dryer to charqui production using temperature and pressure networks. *Solar Energy*, 119, 310–318. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.002>
- Duran, G., Molina, V., Condorí, M., & Buchlller, P. (2008). Ensayo comparativo de un secador pasivo con chimenea y extractor eólico y secador activo con panel fotovoltaico. *AVERMA*, 12, 87–94.
- Saravia, L. (2010). Anexo 4. La simulación de secadores solares. En R. Espinoza, & L. Saravia (Edits.), *Secado de productos agroalimentarios en Iberoamerica* (págs. 343-357). Salta: CYTED Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.



Saravia, L., Alía de Saravia, D., & Sánchez, B. (2007). El diseño de secadores solares usando las curvas de secado del producto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 02.01-02.07.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN SECADOR TIPO INVERNADERO

Sosa Reyes, Salvador; Cruz Pérez, Walter V.; Garcia Ramirez, Felipe; Camacho Martínez, José Luis

^aCIATEQ A.C, Av. Manantiales 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, El Marqués, Qro., ssosa@ciateq.mx, 442-1961500.

Resumen.

Este trabajo presenta la evaluación del comportamiento térmico de un secador tipo invernadero para la deshidratación de hierbas aromáticas, tomando como base el potencial de recurso solar disponible en el lugar de instalación del secador. En dicho trabajo se midieron algunas de las variables que influyen en el proceso de secado y en la calidad del producto final; como son la radiación solar, la humedad relativa, la temperatura ambiente y las temperaturas alcanzadas en el interior del equipo. Por separado, se realizó un análisis mediante simulación dinámica para obtener los campos de densidad térmica y velocidades dentro del secador, la simulación se realizó a partir de los balances de energía en cada componente del secador.

Palabras clave: secador solar, secador tipo invernadero, evaluación térmica.

1. Introducción.

El secado es el proceso de eliminación de la humedad como resultado de la transferencia simultánea de calor y masa [1]. Este proceso es el de mayor requerimiento energético en la cadena productiva de productos agrícolas, por lo tanto, ha sido necesario buscar alternativas viables a un bajo costo, una de ellas es el aprovechamiento de la energía solar. Se utilizan varias tecnologías para el proceso de secado solar, [2-4]. El secador tipo invernadero es más ventajoso en comparación con otras tecnologías; tiene una construcción simple con bajos costos operativos; tiene un alto coeficiente de transferencia de calor por convección; da una muy alta calidad del producto secado y reduce el tiempo de secado [5, 6], se puede utilizar en modo mixto con convección natural o forzada; y bajo convección forzada puede reducir el contenido de humedad en menos tiempo y aumentar la velocidad de secado en comparación con el modo de convección natural [7, 8]. Las principales desventajas del secador tipo invernadero son que la eficiencia del secado depende de las condiciones climáticas y las estaciones; la necesidad de utilizar fuentes de calor adicionales; el hecho de que las instalaciones ocupen una gran superficie; y la posibilidad de emisión de olores liberados durante el secado de algunos productos [5]. Sin embargo, el diseño del secador tipo invernadero debe basarse en principios científicos sólidos que faciliten un buen control de calidad de los productos durante el proceso de secado [9].



El objetivo de este estudio fue la evaluación y análisis térmico de un secador tipo invernadero, empleado para la deshidratación de hierbas aromáticas instalado al sur de la capital del estado de Puebla.

2. Metodología.

2.1. Descripción del secador.

La instalación está ubicada en el municipio de Atlixco, en la denominada Región del Valle de Atlixco y Matamoros del estado de Puebla, donde se tiene una predominancia de clima templado, sub-húmedo y semi-seco con una elevación promedio de 1,050 msnm. El secador tipo invernadero actualmente está siendo empleado para la deshidratación de hierbas aromáticas; principalmente manzanilla, epazote, zacate limón y en menor cantidad otros productos de temporada. Está conformado de una estructura metálica con paredes laterales con material termoaislante encapsulado en el interior. El techo está formado por vidrio transparente con un plafón de lámina metálica lisa que funciona como superficie de adsorción de radiación solar. Por el espacio que hay entre estas dos superficies circula aire para su calentamiento. El aire se desplaza por este espacio y por el interior del cuerpo del secador por medio de una serie de sopladores centrífugos. El secador ocupa un área aproximada de 96 m², es decir, 16 m de largo por 6 m de ancho y una altura máxima de 3.9 m, ver Figura 26.

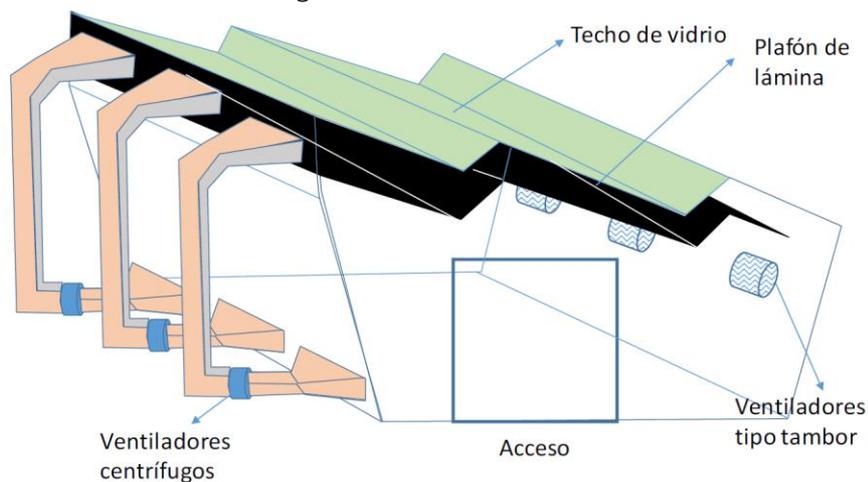


Figura 26.- Esquema del secador tipo invernadero.

2.2. Mediciones.

A fin de conocer los perfiles de temperatura que se tienen en el interior del secador se realizaron mediciones los días 9 y 10 de octubre de 2018, con un sistema de adquisición de datos de la marca *Omega Engineering* modelo OM-SQ2040 con capacidad de 16 canales, cuyos registros son posteriormente exportados para su análisis en el software comercial Microsoft Excel®. Las mediciones de temperatura en el interior del secador, así como la radiación solar fueron los parámetros que se registraron en el equipo de adquisición de datos. Otras variables, tales como humedad y temperatura ambiental exterior, velocidad de aire en el secador fueron medidos con otros equipos portátiles.



2.3. Medición de la radiación solar.

La irradiancia solar externa expresada en w/m^2 , se midió con un piranómetro marca *Kipp & Zonen*, modelo SP Lite2, el cual se colocó en la parte superior del techo de vidrio del secador de tal forma que la lectura de la radiación incidente fuera con el mismo ángulo de inclinación del techo de aproximadamente 21 grados con respecto a la horizontal. En la Figura 27, se muestra la localización del piranómetro.

2.4. Medición de temperatura.

La temperatura del aire en el interior del secador se midió con termopares tipo "J" (incertidumbre de ± 2.5 K). Se eligieron doce posiciones de medición para colocar los sensores de temperatura como se muestra en la Figura 27a. El orden fue basado en la consideración que se tienen tres sopladores para la recirculación de aire. Se colocaron los termopares de temperatura a modo de tener un valor promedio de temperatura de aire en el plénium de calentamiento (espacio entre el techo de vidrio y el plafón de lámina), el ducto de succión de los sopladores centrífugos, el interior de la cámara, y succión de los sopladores de tipo tambor antes del ingreso del aire al plénium.

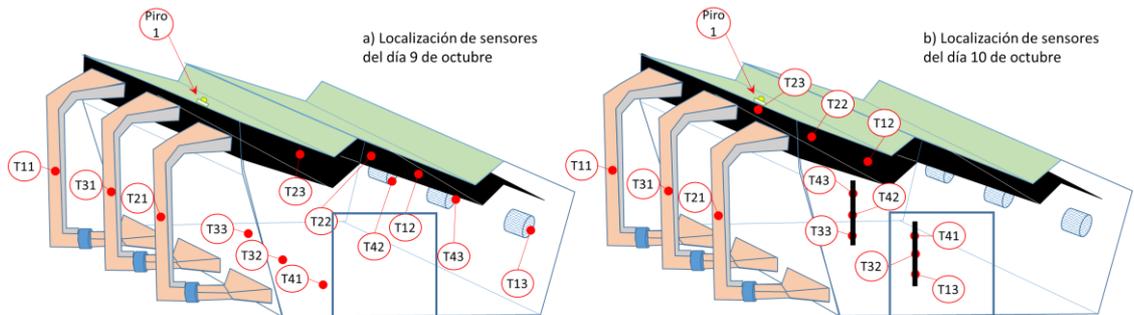


Figura 27.- Localización de puntos de muestreo de los días; a) 9 de octubre y b) 10 de octubre.

El día 10 de octubre, se realizó un reacomodo de los sensores de temperatura como se muestra en la Figura 27b, en el interior del secador para corroborar la estratificación de la temperatura a 0.3, 1.3 y 2.3 m de altura con respecto al piso, registrando una diferencial de $3.3^{\circ}C$ entre los 0.3 y 2.3 m.

Para la medición de la temperatura exterior se instaló una estación climatológica de la marca *Davis Instruments* para obtener datos de referencia del clima durante las pruebas; principalmente, temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar.

2.5. Medición de la velocidad del aire.

En el interior del secador se realizaron mediciones manuales de velocidad de aire en ductos mediante un anemómetro (*EXTECH Instruments*, modelo 451126, con una incertidumbre de ± 0.2 m/s).

3. Resultados y Discusión.

Los datos recopilados el día 9 de octubre se analizaron para determinar la capacidad térmica con respecto al área de captación y la radiación incidente. Ambos días que se realizaron las mediciones se tuvo mucha nubosidad dispersa lo que



provocaba que las lecturas de radiación fueran constantes sólo durante periodos muy cortos de tiempo. Esta adversidad se puede considerar hasta cierto punto favorable para el análisis ya que se pudieron observar diferentes puntos de calentamiento a lo largo de cada jornada.

En la Figura 28, se muestra la gráfica con los datos recopilados de medición de temperatura con las tres sondas colocadas en el plénum de calentamiento (T12, T22 y T23) contra la radiación solar directa.

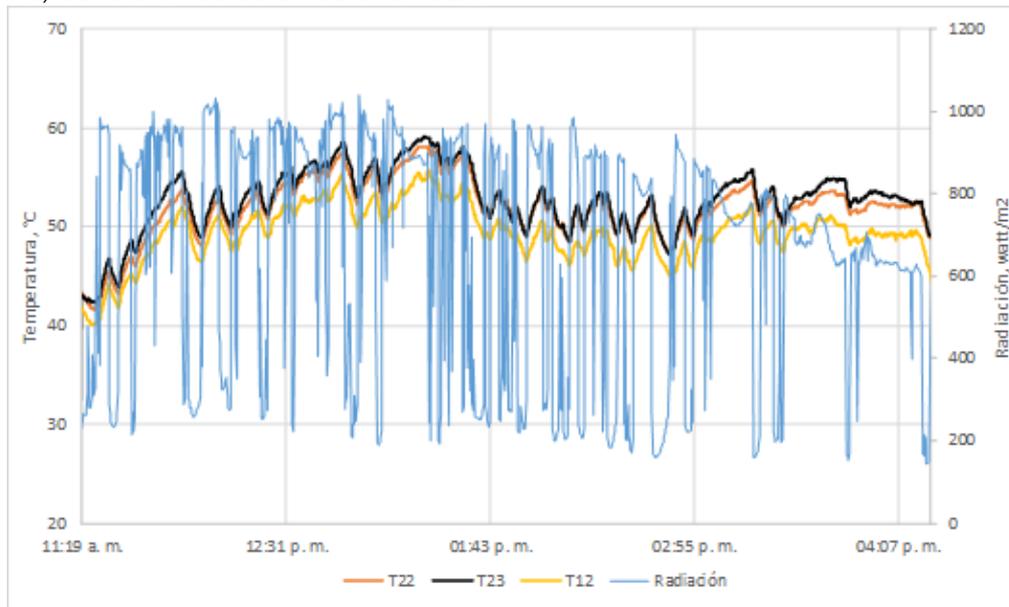


Figura 28.- Gráfica de mediciones de temperatura vs radiación solar directa; en plénum de calentamiento

La curva oscilante corresponde a las lecturas de la radiación solar directa, donde se muestran las variaciones debidas a la nubosidad dispersa que se tuvieron durante los días de estudio.

En la gráfica de la Figura 28, se pueden observar diferentes rampas ascendentes, así como descendentes debido a los lapsos nubosos que se tuvieron. Esto hace suponer que se tiene poca retención de calor en el interior del secador. Cabe resaltar que estas mediciones se realizaron sin la presencia de material a secar en el interior (pruebas en vacío). Lo anterior se pudo observar con las lecturas registradas en el interior del secador durante el lapso desde la tarde del día 9 hasta la mañana del día 10 de octubre, registrando una diferencial de temperatura de casi 30°C.

Los datos registrados por los sensores al interior del secador (T32, T33 y T41) muestran un comportamiento similar a los de la Figura 28 con ligeras variaciones en los valores registrados.

Los valores máximos de temperatura registrados se tuvieron entre las 13:15 y 13:22 horas cuando se registró una radiación promedio de 880 w/m². Por su parte los registros del día 10 de octubre, registraron sus valores máximos entre las 13:49 y 13:53



horas con una radiación solar promedio de 932 w/m^2 . El resumen se muestra en la Figura 29.

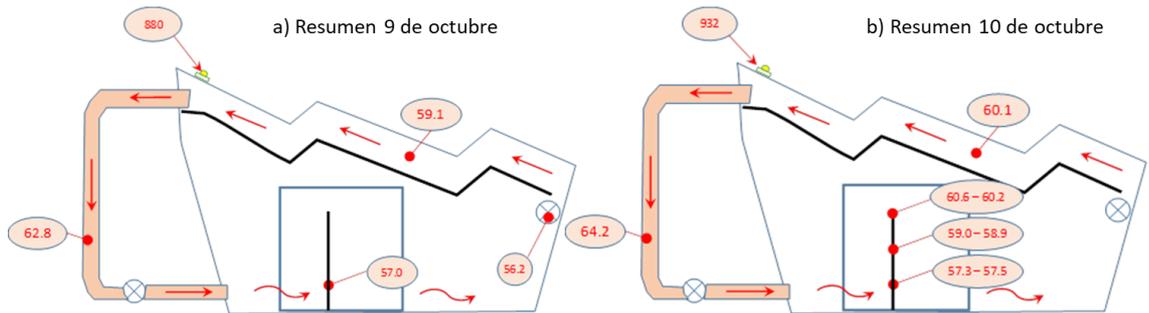


Figura 29.- Temperaturas máximas registradas; a) 9 de octubre y b) 10 de octubre.

El volumen neto de operación del secador, descartando el volumen ocupado por el plénum de calentamiento, se estimó en 303 m^3 . Usando los lapsos de tiempo de los datos resumidos en la Figura 29, se calculó que la ganancia neta de energía fue de $1,173.9 \text{ kJ}$, lo que equivale a una potencia térmica neta absorbida de $13,857 \text{ kJ/h}$. Bajo esa misma condición, y considerando un área de captación de radiación solar de 99 m^2 , se tiene una potencia térmica de $353,548 \text{ kJ/h}$. En cinco minutos de lapso se tendría una potencia neta de $29,953 \text{ kJ}$, por lo tanto, con respecto a la ganancia antes señalada se resume que se tuvo una eficiencia del 3.9%.

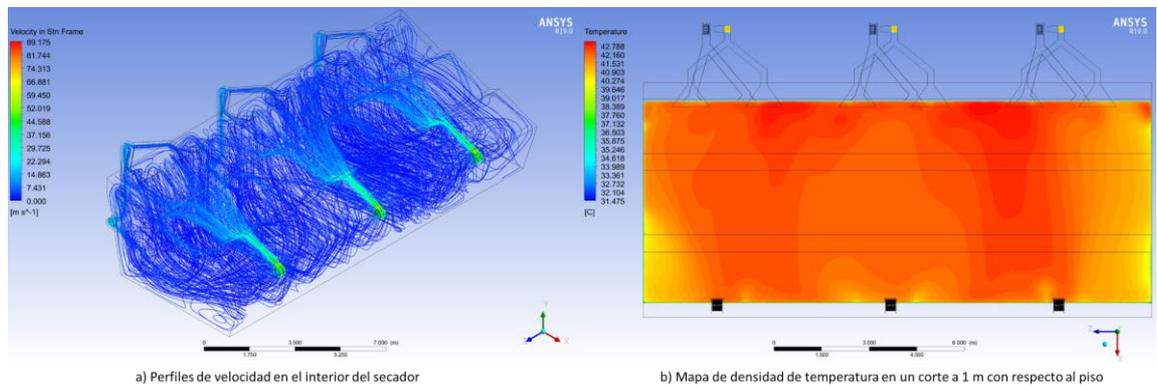


Figura 30. Gráficas de resultados de simulación numérica.

Con la información recopilada se realizó un modelo para su evaluación en el software comercial *ANSYS Fluent*. Debido a que no fue posible obtener perfiles de velocidad puntuales en el interior del secador por ser demasiados bajos para los instrumentos disponibles, se partió de los datos técnicos de los sopladores para realizar el modelo que se muestra en la Figura 30a. Se puede apreciar una corriente circulante en el interior del secador con perfiles por debajo de los 0.5 m/s . Este mismo análisis muestra una zona con baja circulación en el centro del secador, lo que a su vez corrobora las variaciones de temperatura que se observaron en la parte media,



entre 1.0 y 2.0 m de elevación, y con una zona de baja temperatura en el centro como se aprecia en la Figura 30b.

4. Recomendaciones.

Uno de los hallazgos más importantes que se encontraron en el estudio se refieren al caudal de aire manejado por los sopladores centrífugos principalmente. En diferentes publicaciones [10], referentes a operaciones de secado sugieren que se manejen velocidades de aire de entre 0.5 a 1.5 m/s. Los valores registrados en diferentes puntos mostraron comportamientos irregulares y menores en promedio a 0.2 m/s. Otro aspecto importante es que se recomienda modificar la superficie de calentamiento (plénium), aplicando un aislamiento térmico en la cara contraria a la superficie de captación de radiación solar, con la finalidad de asegurar que se logre una adecuada transferencia de calor al aire que circula por este espacio.

Adicional, a las modificaciones necesarias en los sopladores centrífugos, es importante considerar mamparas o rejillas de distribución que modulen la distribución de aire en el interior del secador, así como el direccionamiento hacia el plénium de calentamiento y adicionar registros para la renovación del aire húmedo.

5. Conclusión.

En este trabajo se logró la evaluación del comportamiento térmico del secador tipo invernadero, que sirvió para concretar las recomendaciones para aprovechar mejor la energía solar en el secador y generar una distribución uniforme del aire para asegurar su correcta operación.

6. Agradecimientos.

Este diseño se realizó bajo un proyecto de vinculación con la industria, los autores agradecen a CIATEQ A.C y CONACYT para poder llevar a cabo toda la investigación.

7. Referencias.

[1] Erenturk S, Erenturk K (2007) Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78:905-912.

[2] Mustayen AGMB, Mekhilef S, Saidur R. Performance study of different solar dryers: a Review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014; 34:463-470.

[3] Ghosal MK, Tiwari GN. Parametric studies for heating performance of an earth to air heat exchanger coupled with a greenhouse. *Int J Energy Res.* 2005; 29:991-1005.

[4] VijayaVenkataRaman S, Iniyar S, Goic R. A review of solar drying technologies. *Renew Sustain Energy Rev.* 2012; 16:2652-2670.

[5] Nidhi PV. A review paper on solar greenhouse dryer. *IOSR J MecCiv Eng (IOSR-JMCE).* 2016:2278-1684.

[6] Patil R, Gawande R. A review on solar tunnel greenhouse drying system. *Renew Sustain Energy Rev.* 2016; 56:196-214.



[7] ELkhadraoui A, Kooli S, Hamdi I, Farhat A. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Ren Energy*. 2015; 77:1-8.

[8] Janjai S, Intawee P, Kaewkiew J, Sritus C, Khamvongsa V. A large-scale solar greenhouse dryer using polycarbonate cover: modeling and testing in a tropical environment of Lao People's Democratic Republic. *Ren Energy*. 2011; 36:1053-1062.

[9] López-Ortiz A, Rodríguez-Ramírez J, Méndez-Lagunas L, Martynenko A, Pilatowsky-Figueroa I. Non-isothermal drying of garlic slices (*Allium sativum*, L.): wave period and initial temperature of the heating/cooling effect. *Food Bioprod Process*. 2018; 3: 83-92.

[10] Mathematical modeling of the drying kinetics of the leaves of lemon grass (*Cymbopogon citratus Stapf*) and its effects on quality, P. C. Coradi, E. Melo, R. P. da Rocha. *IDESIA (Chile)* Sep.-Nov., 2014. Vol. 32 No. 4.



EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA TERMOSOLAR PARA EL CALENTAMIENTO INDIRECTO DE AIRE EN UNA PLANTA DE SECADO DE ALIMENTOS EN ZACATECAS.

N. M. Ortiz-Rodríguez*, O. García-Valladares

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Centro, CP 62580, Temixco, Morelos.

*Corresponding author: nmorr@ier.unam.mx

Resumen

Los captadores solares para calentamiento de aire no son los únicos sistemas termosolares para las aplicaciones de secado solar. También los captadores solares a base de un fluido térmico líquido se pueden utilizar de forma indirecta usando un intercambiador de calor líquido-gas. Este trabajo presenta el análisis térmico y energético de un sistema de calentamiento de aire indirecto (SCIA) integrado básicamente por un campo de 40 colectores solares a base de agua (92.4 m²), un sistema de almacenamiento térmico de 6150 litros y un intercambiador de calor agua-aire. El sistema se operó en modo almacenamiento y la extracción de energía se realizó variando el caudal de agua a través del intercambiador. La eficiencia promedio del campo de los calentadores solares fue de $\approx 50\%$ y la temperatura máxima alcanzada en el termotanque fue de 90 °C. La capacidad de transferencia de calor en el intercambiador agua-aire fue en promedio de 50 kW, entregando temperaturas entre 50-75 °C, con una eficiencia térmica alrededor entre 70 y 85%. El SCIA puede prologar las condiciones de secado más de 2.5 horas continuas, durante las horas sin sol, dependiendo de las condiciones de operación y las condiciones climatológicas.

Introducción

Una de las problemáticas actuales en el ámbito mundial es el abasto de energía sustentable y el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera. Una de las posibles soluciones para estos problemas es utilizar las fuentes de energía renovables, como la solar térmica, para abastecer el creciente consumo de energía en los diversos sectores económicos.

En diversos sectores industriales existen numerosos procesos que requieren energía térmica a temperaturas por debajo de los 250 °C, en la mayoría de los casos esta energía es suministrada por fuentes convencionales (Farjana et al. 2018), cuando bien puede ser suministrada con la implementación de sistemas termosolares. Los sectores industriales identificados como potenciales para el uso de energía termosolar son: procesamiento de alimentos (incluyendo vino y bebidas), pulpa y papel, procesamiento de textiles, equipo de transporte, procesamiento de carne, tratamiento de plásticos, procesos farmacéuticos y químicos, etc (A. K. Sharma et al. 2017).

La industria alimentaria se identifica como el sector industrial dominante hoy en día para los sistemas de calentamiento solar, en procesos como: el calentamiento de agua, la pasteurización, la limpieza, el precalentamiento, el secado y la cocción;



siendo los colectores solares de placa plana y los concentradores de canal parabólico las tecnologías termosolares más usada en este sector (Farjana et al. 2018).

En la industria alimentaria, que representa aproximadamente el 30% del consumo de energía del mundo (FAO 2011), el secado comprende una operación unitaria importante e intensiva en energía (Masanet et al. 2008). El secado a escala comercial requiere una enorme cantidad de energía para calentar el aire cuando se secan varios productos alimenticios y existe la oportunidad de utilizar la energía solar en el proceso de secado (Hollick 1999).

En muchos países del mundo, el uso de sistemas térmicos solares para el secado de alimentos ha demostrado ser práctico, económico y con un enfoque responsable ambientalmente (A. Sharma, Chen, y Vu Lan 2009). Entre los diversos tipos de secadores solares, se ha informado que los secadores de convección forzada distribuidos (indirectos) son superiores en velocidad de secado, calidad de secado (Kumar y Khatak 2016) y son los más adecuados para secar grandes cantidades de alimentos (Belessiotis y Delyannis 2011). Normalmente los sistemas de secado solar (SSS) distribuido, están integrados por calentadores solar de aire (SAH, por sus siglas en inglés). Sin embargo, no son los únicos tipos de captadores solares que se pueden usar para SSS. También se pueden usar calentadores solares de agua (SWH, por sus siglas en inglés) para calentar indirectamente el aire usado en el proceso de secado (Fudholi et al. 2010). Además, los sistemas a base de agua pueden servir como almacenamiento térmico durante las horas sin sol (Ortiz-Rodríguez et al. 2020). Los SSS que involucran el uso de agua como fluido de transferencia de calor y material sensible de almacenamiento de calor, han sido poco estudiados (Murali et al. 2020).

El secado solar se puede utilizar para todo el proceso de secado o para complementar sistemas de secado artificial, reduciendo así la cantidad total de energía de combustible requerida (VijayaVenkataRaman, Iniyar, y Goic 2012). Por lo tanto, los secadores solares ayudan a mitigar el consumo de fuentes convencionales de energía, como los combustibles fósiles, lo que permite reducir las emisiones de CO₂ (Phadke, Walke, y Kriplani 2015).

Además, el secado es un método ancestral para preservar los alimentos y los cultivos agrícolas. Por lo tanto, el secado de alimentos con sistemas termosolares no sólo ayuda a resolver los problemas de abasto de energía sustentable y el deterioro del medio ambiente. Sino también, puede ayudar a abatir el problema mundial del desperdicio de alimentos. En países en desarrollo las pérdidas de alimentos son del 10 al 40%, debido a varias razones como la falta de tecnología adecuada, el cultivo y la fertilización inadecuados, la falta de canales de comercialización, pérdidas de cosecha, a las malas técnicas de procesamiento y la escasez en las instalaciones de almacenamiento (Esper y Mühlbauer 1998)(El-Sebaei y Shalaby 2012)(Kumar y Khatak 2016).

El desarrollo tecnológico del secado solar se ha orientado hacia dos vías: i) secadores simples de baja potencia, baja eficiencia y de vida útil corta, pero económicos; ii) secadores de grandes capacidades, altas eficiencias, mayor



durabilidad y por consiguiente más costosos (Othman et al. 2006). La mayoría de los numerosos diseños de secadores solares, que están disponibles, son secadores simples desarrollados para uso familiar o para producción a pequeña escala (Belessiotis y Delyannis 2011) (Lamidi et al. 2019). Se reconoce que las tecnologías de secado se han investigado ampliamente. Sin embargo, hay muy poca información disponible sobre el desarrollo y la investigación de SSS demostrativos con un enfoque en aplicaciones agroindustriales de alta capacidad (Ortiz-Rodríguez et al. 2020). Aunque los SSS son sostenibles, su implementación para aplicaciones de nivel comercial es laboriosa, por lo tanto, aun se requiere investigación en este sentido (Mohana et al. 2020).

Ante este panorama, el desarrollo de tecnologías de secado solar robustas que se adapten a las necesidades del sector agroindustrial y otros sectores industriales resulta relevante para atender las problemáticas actuales de ámbito mundial, mencionadas anteriormente. El principal objetivo del presente trabajo es realizar un análisis del rendimiento térmico y energético de los componentes que integran un Sistema de Calentamiento Indirecto de Aire (SCIA) en una planta termosolar de deshidratado de productos agrícolas.

Materiales y métodos

Descripción general de la planta

La planta termosolar de deshidratado de productos agrícolas, analizada en el presente trabajo, cuenta con un sistema de secado solar distribuido-híbrido por convección forzada. Este sistema está integrado básicamente por:

- Una cámara de secado tipo túnel de operación semi-continua.
- Sistema de calentamiento directo de aire (48 SAHs con un área de 111.1 m²).
- Sistema de calentamiento indirecto de aire
- Sistema convencional (quemador de gas LP).

La integración de las diferentes tecnologías ofrece un sistema de generación de energía térmica versátil, capaz de adaptarse rápida y fácilmente a diferentes modos de funcionamiento: convencional, solar e híbrido, descritos por García-Valladares y colaboradores (García-Valladares et al. 2019). En la Figura 31 se presenta esquemáticamente la distribución de los componentes que integran el sistema de secado de la planta, así como algunos de los sensores instalados para su evaluación.

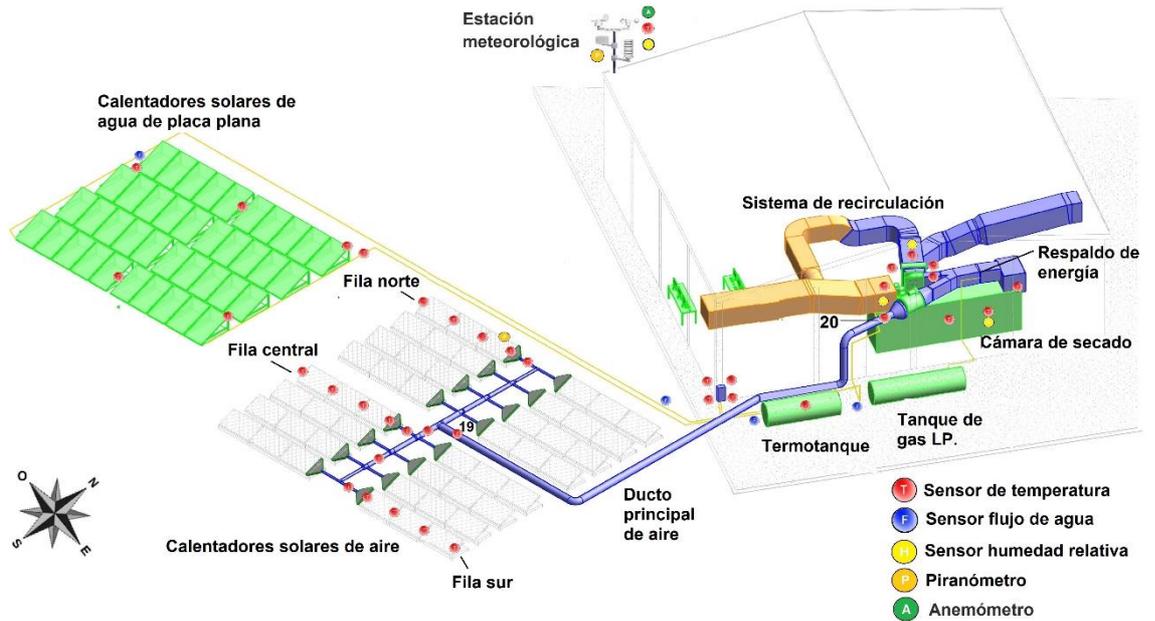


Figura 31 Representación esquemática de la distribución de los componentes e instrumentación que integran la planta.

En el presente trabajo, sólo se presenta el análisis térmico y energético del (SCIA) en modo de operación de almacenamiento. A continuación, se describe dicho sistema.

Sistema de calentamiento indirecto de aire

El de la planta está integrado básicamente: i) un campo de captadores solares planos para el calentamiento de agua, ii) termotanque, iii) intercambiador de calor de tubos aletados agua-aire, iv) ventilador centrífugo y v) otros auxiliares. En modo de almacenamiento, el agua es almacenada en el tanque térmico para su posterior uso. En la Figura 34 se pueden observar los equipos claves que integran el sistema de calentamiento de indirecto de aire; así como la instrumentación del mismo.

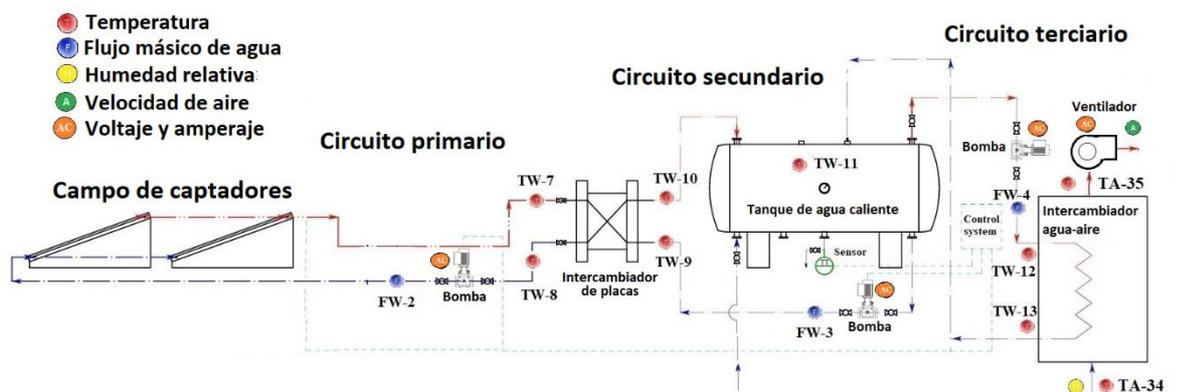


Figura 32 Componentes del SCIA (modo almacenamiento) e instrumentación.

Campo de captadores solares para el calentamiento de agua

El campo de captadores solares cuenta con captadores de placa plana de aluminio y una red de 11 tubos de cobre (risers). Los captadores cuentan con una



cubierta de vidrio solar templado texturizado de 4mm de bajo contenido de hierro. El área efectiva de cada captador es de 2.32 m². El campo está integrado por 40 captadores (92.44 m²) orientado al Ecuador con una inclinación de 22.72 ± 0.94 . En la Figura 33 se presenta esquemáticamente el arreglo del campo de captadores solares planos para el calentamiento de agua, así como la ubicación de los sensores que registran las variables de interés.

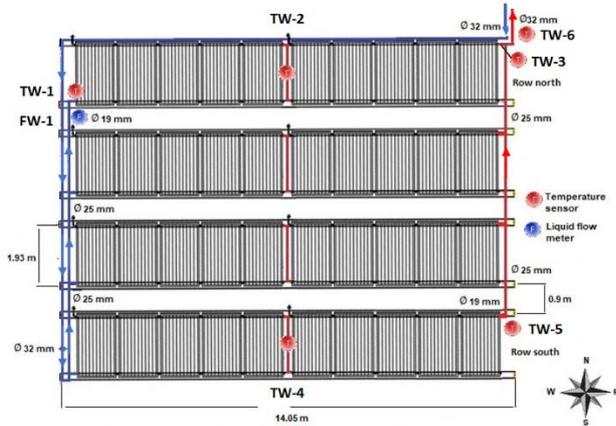


Figura 33 Arreglo de captadores solares para calentamiento de agua.

El sistema de captadores solares para el calentamiento de agua opera por un sistema de circulación forzada integrado por un circuito primario cerrado y un circuito secundario abierto. El circuito primario es el encargado de remover el calor útil del campo de captadores solares mediante la recirculación del agua. Mientras, el circuito secundario es el encargado de transportar el calor útil para su almacenamiento. El calor útil procedente del campo de captadores solares se transfiere del circuito primario al circuito secundario mediante un intercambiador de calor de placas.

Intercambiador Agua-Aire

Se cuenta con un intercambiador de calor agua-aire que permite el calentamiento indirecto del aire mediante la energía que es captada por el sistema de calentamiento solar. Al interior de los tubos fluye el agua caliente y al exterior de los tubos aletados fluye el aire que gana el calor sensible cedido por el agua caliente.

Ventiladores

El flujo de aire a calentar para el secado es proporcionado un ventilador que cuenta con un variador de frecuencia que permiten regular el caudal de aire requerido a la entrada de la cámara de secado.

Sistema de almacenamiento térmico

Se cuentan con un tanque atmosférico horizontal para el almacenamiento del agua caliente. En el modo de almacenamiento, el sistema cuenta con un control diferencial de temperatura que activa las bombas del circuito primario y secundario. El control está programado para detener las bombas cuando el tanque alcanza una temperatura de 90°C. Cuando se opera el SCIA en modo almacenamiento se cuenta con un circuito terciario. Este se encarga de extraer la energía del tanque y entregarla al intercambiador de tubos aletados. Para ello, se cuenta con a una bomba de agua



que sirve para transportar el agua caliente al intercambiador de calor de agua-aire. El agua que sale del intercambiador es recirculado en la parte central del tanque. La bomba está conectada a un variador de frecuencia que permite regular el caudal de agua caliente que pasa por el intercambiador.

Monitoreo e instrumentación

Las variables de operación fueron monitoreadas y registradas simultáneamente en períodos de un minuto mediante dos unidades de adquisición de datos (Agilent, Modelo 34970A), a excepción de las velocidades del aire que fueron registradas manualmente. Se utilizaron transductores (Ibérica modelo PCE-P18, presión de $\pm 2\%$ RH) para el registro simultáneo de temperatura y humedad relativa del aire. Para el registro individual de temperaturas del aire se usaron sensores RTD (PT-1000, presión de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Se utilizó un anemómetro de hilo caliente (TSI modelo 8345; rango (0-30 m/s) y precisión $\pm 3\%$) para medir la velocidad del flujo de aire en los ductos de aire y en las cámaras de secado. La irradiancia se registró con un piranómetro Kipp & Zonen CMP3 (Non-linear $<1.5\%$ (up to 1750 W/m^2)). El flujo másico de agua se midió con caudalímetros magnéticos (Seametrics, model SPT-100, precisión $\pm 1\%$ FSO. La distribución de los sensores permite determinar la eficiencia global del campo de captadores, así como la eficiencia del sistema de intercambio entre ambos circuitos, ver Figura 32 y Figura 33. Para el análisis térmico al interior del tanque, se realizó la instalación de sensores de temperatura tipo capsulas inalámbricas (Water-Proof Thermometer Cole-Parmer, model 90205-22, precisión de $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) a diferentes niveles como se ilustra en la Figura 34.

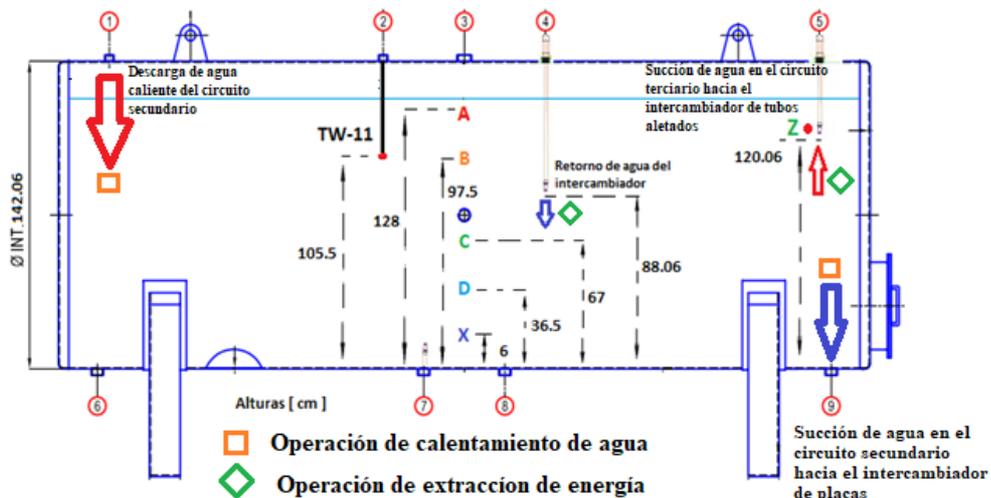


Figura 34 Instrumentación al interior del tanque de almacenamiento de energía.

Procedimiento usado para el procesamiento de los datos experimentales

Para realizar el análisis energético del sistema de calentamiento indirecto del aire se utilizaron los datos experimentales de las temperaturas, flujos másicos de los fluidos (aire y agua), las humedades relativas del aire y las entradas de energía (solar y eléctrica). La eficiencia térmica instantánea del campo de los colectores solares se



define como la relación entre la ganancia de energía útil por el fluido térmico y la energía solar incidente, en un determinado instante, mediante la expresión:

$$\eta_{t,c} = \frac{\dot{m} C_{p_{mf}} (T_{f,out} - T_{f,in})}{I A_C} \quad (3)$$

donde A_C es el área de apertura de los captadores solares, I es la irradiancia solar en el plano del captador, \dot{m} es el flujo másico del fluido térmico, $C_{p_{mf}}$ es la capacidad calorífica media a presión constante del fluido térmico, $T_{f,in}$ y $T_{f,out}$ son las temperaturas de entrada y salida del fluido térmico, respectivamente.

La eficiencia energética global de los sistemas de captación de energía solar considerando el consumo de la energía eléctrica de los equipos auxiliares (E_{elec}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{g,e} = \frac{E_{u, agua}}{E_{inc} + E_{elec}} \quad (4)$$

donde $E_{u, agua}$ es la energía útil transferida al agua en un lapso de tiempo y E_{inc} es la energía solar incidente. Los calentadores solares de agua no son los únicos intercambiadores de calor del sistema de calentamiento indirecto del aire. También, lo integran los intercambiadores de placas y de tubos aletados y también se tienen algunas pérdidas al medio ambiente. Por lo tanto, un parámetro de interés a determinar en un intercambiador de calor es la eficiencia térmica instantánea de la transferencia de calor. La cual se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{int} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} = \frac{\dot{m}_c C_{p_{mfc}} (T_{fc,out} - T_{fc,in})}{\dot{m}_h C_{p_{mfh}} (T_{fh,out} - T_{fh,in})} \quad (5)$$

Resultados y discusiones

La evaluación del sistema de calentamiento indirecto del aire se realizó operando en modo almacenamiento. En este modo de operación el calentamiento solar del agua y el calentamiento indirecto del aire no se realizan de manera simultánea, debido a que el almacenamiento térmico sirve como respaldo de energía en las horas de baja o nula radiación solar. Por lo tanto, los resultados se presentan en dos secciones: i) el calentamiento solar y almacenamiento del agua y ii) la extracción de energía y calentamiento indirecto del aire. Cabe mencionar, que el análisis térmico y energético presentado no incluye el proceso de secado de un producto en particular, sólo se enfoca al análisis de los componentes del sistema de calentamiento indirecto del aire sin la cámara de secado.

Calentamiento solar y almacenamiento de agua

Se realizaron dos pruebas de calentamiento (20 y 22 de diciembre del 2018) con la mitad del área de captación de los calentadores de agua (fila norte y sur, ver Figura 33). Debido a esto se tiene mayor flujo por fila, aunque el flujo global es similar a de la operación de la configuración normal de cuatro filas.



La prueba realizada el día 22 de diciembre se describe a continuación. Las bombas del sistema de calentamiento de agua se encendieron automáticamente a las 9:10 h con una temperatura al interior del tanque de 41.14 °C y se apagaron automáticamente a las 15:29 h con una temperatura de 58.52 °C, por lo tanto, se tuvo un periodo de prueba efectivo de 6.4 horas continuas en el cual la irradiancia global promedio sobre el plano del captador fue de 932.35 W/m². En la Figura 35 se presentan el perfil de temperatura: a la entrada (TW-1) y a la salida (TW-6) del campo de captadores solares, así como la progresión de la temperatura en el termo tanque (TW-11) y la temperatura ambiente. También se presenta la irradiancia solar en el plano del captador y se puede observar que fue un día totalmente despejado.

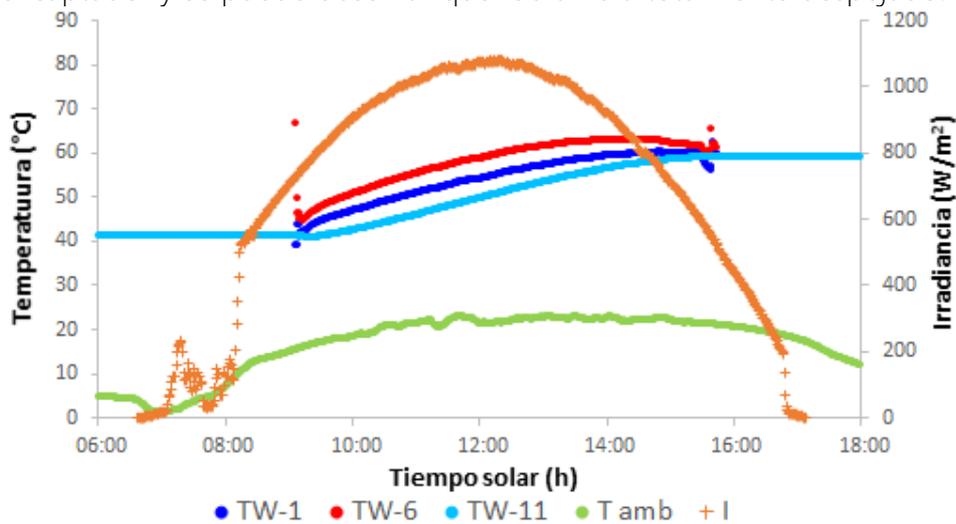


Figura 35 Perfil de temperaturas en el campo de captadores solares para el calentamiento de agua, termotanque e irradiancia solar del 22 diciembre.

En la Figura 36 se presenta las eficiencias instantáneas de la fila norte, fila sur y global del campo de captadores de energía solar para el calentamiento de agua; así como también la energía útil entregada por los captadores solares y la energía acumulada en el termotanque. Durante las 6.4 horas la energía incidente total sobre los 20 captadores solares fue de 984.72 MJ, mientras, que la energía útil removida por el agua fue de 523.95 MJ. Por lo tanto, la eficiencia térmica global del campo de captadores solares fue de 53.2 %, esta eficiencia fue menor que la del día 20 diciembre, pero las temperaturas de operación fueron mayores. Al finalizar la prueba la energía contenida en el agua del tanque fue de 482.35 MJ. Por lo tanto, el 8 % de la energía útil se pierde durante el transporte y almacenamiento del agua al tanque, este parámetro fue similar ligeramente mejor para el día 20 de diciembre.

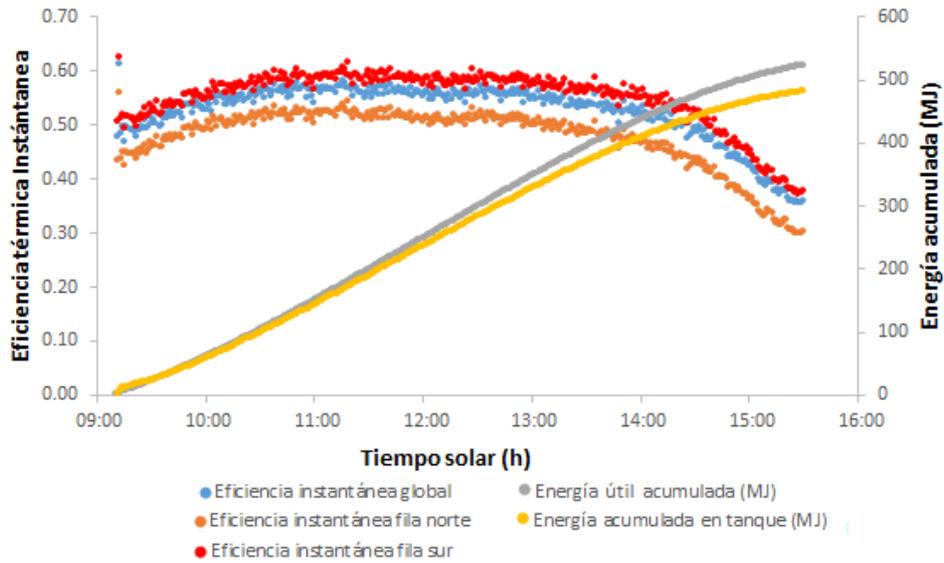


Figura 36 Eficiencias térmicas instantáneas y energía acumulada del día 22 diciembre.

En la Figura 37 se presenta los perfiles de temperatura del agua a diferentes posiciones al interior del tanque. Se puede observar que justo antes del encendido de las bombas existe una estratificación significativa de las temperaturas al interior del tanque, sobre todo de las dos primeras posiciones respecto al fondo (cápsulas D y X). Una vez encendidas las bombas el nivel de estratificación se reduce, debido al movimiento convectivo del agua al interior del tanque ocasionada por la succión (posición 9) y descarga (posición 1, ver Figura 34) del circuito secundario. A pesar de la agitación ocasionada por el encendido de la bomba del circuito primario, se puede observar que la estratificación persiste. De hecho, después de 1.5 horas de iniciado el calentamiento, se puede observar un aumento de la estratificación de temperatura en la parte más baja (X) respecto a las posiciones restantes; esta estratificación vuelve a disminuir conforme la velocidad de calentamiento va disminuyendo durante el atardecer. Con el comportamiento de la estratificación de las temperaturas durante el calentamiento se puede predecir que se forma una corriente con poca estratificación en la parte central del tanque.

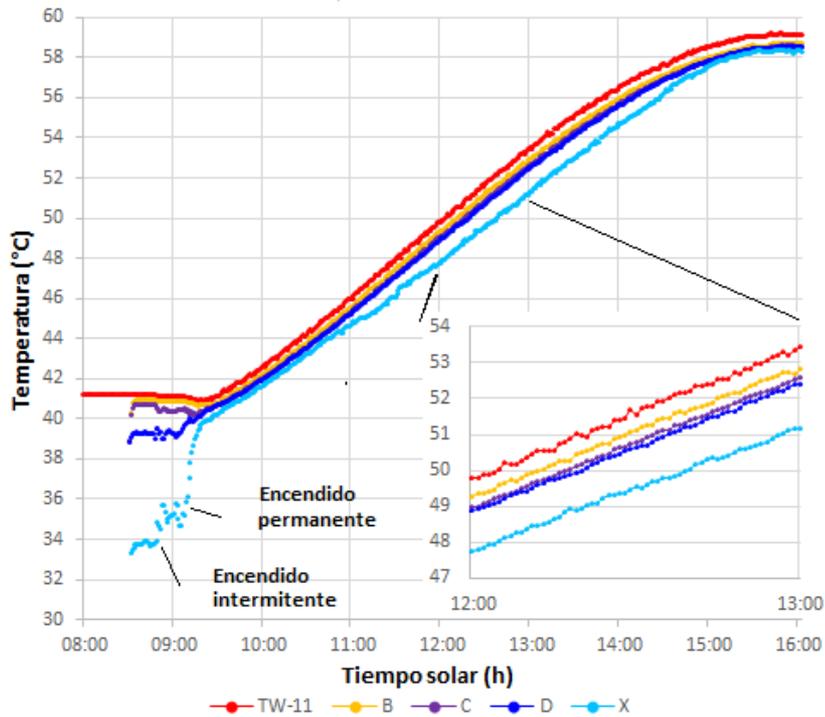


Figura 37 Estratificación de temperaturas en el tanque (22 diciembre).

Resumen de las pruebas de calentamiento

En la Tabla 22 se presentan el resumen de los parámetros de operación relevantes del sistema de calentamiento de agua y almacenamiento de energía en los dos días de prueba. En el caso del campo SWHs, las eficiencias fueron de 52.47-55.34%. Misha y colaboradores reportan un sistema de secado asistido por energía solar mediante SWH de tubos evacuados con eficiencias del campo (31.5 m²) del 56% (Misha et al. 2016), por lo tanto, las eficiencias del presente trabajo son similar a las eficiencias reportadas en la literatura.

Tabla 22 Parámetros de operación del sistema de calentamiento de agua durante las pruebas

Parámetros	20-Dic	22-Dic
Tiempo de operación efectiva (h)	5.5	6.4
Flujo de agua del circuito primario promedio (kg/min)	88.41 ± 3.36	86.84 ± 1.22
Flujo promedio en la fila norte (kg/min)	38.96 ± 2.59	38.38 ± 0.54
Flujo promedio fila sur (kg/min)	49.45 ± 2.78	48.46±0.68
Eficiencia energética global del sistema del sistema de captación solar (%) (Ecuación (4))	54.44%	51.33%
Temperatura del agua almacenada al inicio del calentamiento (°C)	26.21	41.14
Temperatura del agua almacenada al final de calentamiento (°C)	43.65	58.52
Energía almacenada (MJ)	448.19	482.36



Extracción de la energía almacenada y calentamiento indirecto del aire

Con la finalidad de evaluar el comportamiento del sistema de calentamiento indirecto del aire, se probaron dos formas de extraer la energía almacenada en el tanque térmico: flujo máximo y flujo variado del agua a través del intercambiador de calor agua-aire. Para ambas pruebas, la extracción de energía finalizó cuando la temperatura del aire a la salida del intercambiador fue por debajo de los 50 °C. En todas las pruebas el contenido de agua al interior del tanque fue de 6150 kg y el flujo volumétrico de aire a través del intercambiador fue de 6367.78 m³/h.

Flujo máximo

En la Figura 38 se presentan las variables de interés para el análisis de la extracción de energía del termotanque durante el día 10 de enero. Una vez encendida la bomba de agua (55.06±0.51 kg/min) que extrae la energía del termotanque se observó que inicialmente persiste una estratificación, sin embargo, conforme avanza la operación de extracción de energía a flujo máximo las temperaturas al interior del tanque son muy similares lo que indica prácticamente un mezclado completo al interior del tanque.

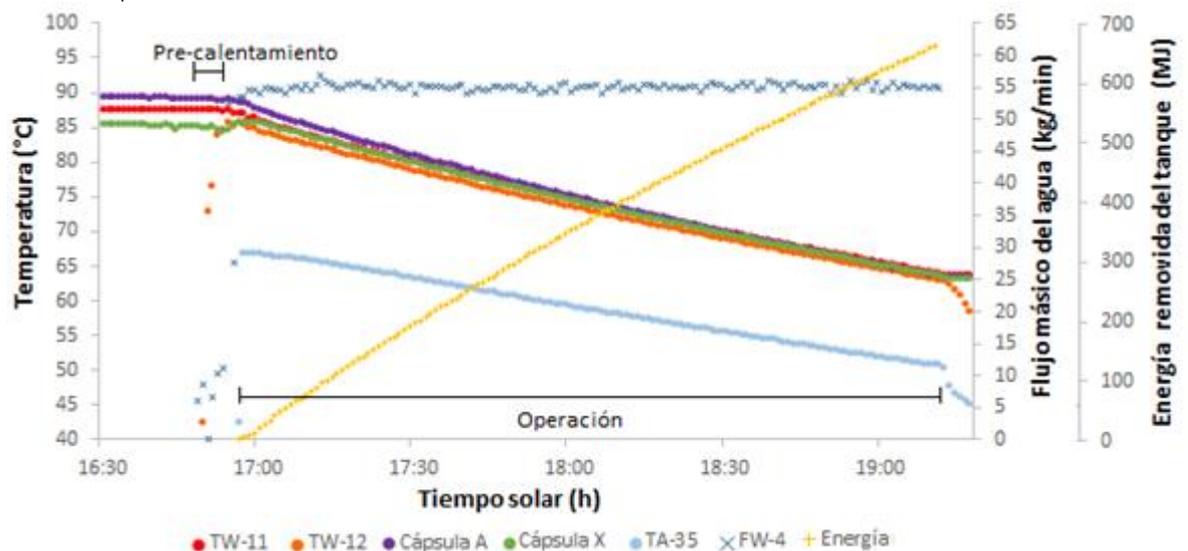


Figura 38 Perfiles de temperatura en el intercambiador y en el termotanque, así como el flujo másico de agua a través del intercambiador durante la operación a flujo máximo.

En la Figura 39 se presentan los perfiles de temperatura del agua a la entrada (TW-12) y a la salida (TW-13), del aire a la entrada (TA-34) y a la salida (TA-35) del intercambiador de calor de tubos aletados y las eficiencias térmicas instantáneas; así como el flujo másico de agua (FW-4). La temperatura del aire a la salida del intercambiador se mantuvo por encima de los 50 °C durante las 2.26 horas de operación. La temperatura máxima del aire a la salida del intercambiador fue de 67°C. La eficiencia térmica instantánea del intercambiador promedio fue de 0.7396±0.0114.

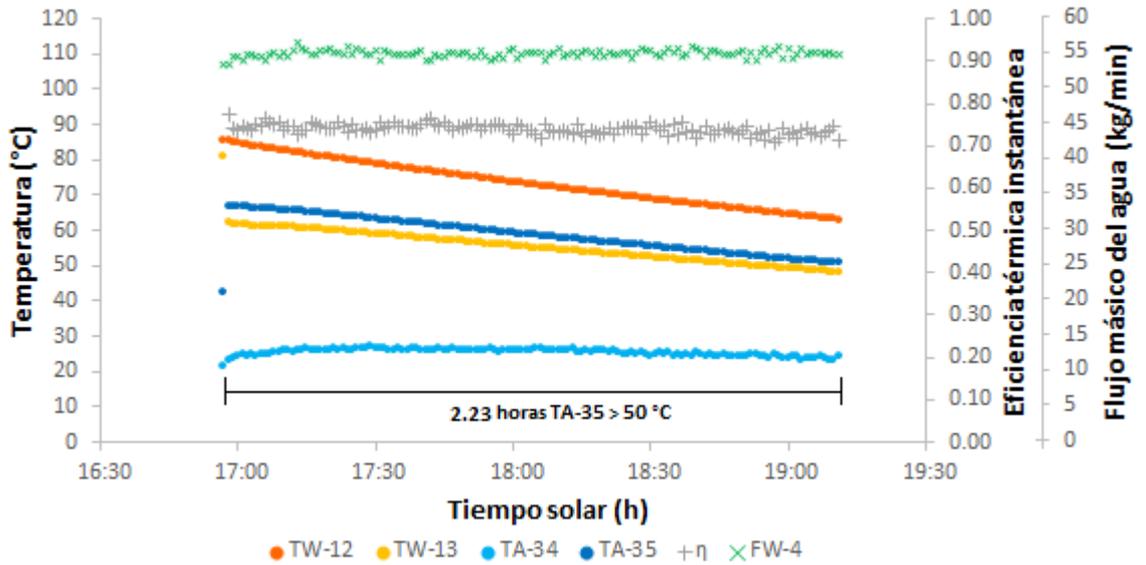


Figura 39 Eficiencia térmica y perfil de temperatura del intercambiador a flujo máximo de agua.

La temperatura promedio del tanque se reduce de 87.61°C a 63.8 °C, aportando un total de 614.23 MJ de energía térmica almacenada en el termotanque al proceso de calentamiento indirecto del aire. El calor útil entregado al aire en el intercambiador de calor fue de 414.25 MJ, por lo tanto, el 32.53 % de la energía aportada por el termotanque se perdió durante el calentamiento indirecto del aire.

Flujo variado

Durante la operación del SCIA a flujo variado se reguló el caudal del flujo de agua caliente que pasa a través del intercambiador de tal manera que la temperatura del aire a la salida del intercambiador fue de 53.34 ± 2.21 °C. En la Figura 40 se presentan los perfiles de temperatura al interior de termotanque. Se observa que a flujo más bajo (18.9 kg/min) el mezclado es más evidente en las posiciones por debajo de la descarga del retorno del agua. Conforme avanza la operación y aumenta el flujo del agua, el mezclado en otros niveles del agua al interior del tanque comienza a ser relevantes. Cuando se alcanza el flujo máximo (54 kg/min) ocurre un mezclado completo entre las diferentes posiciones registradas al interior del tanque. Por lo tanto, deja de existir una estratificación significativa en entre las posiciones medidas y las temperaturas son prácticamente iguales. Con estas observaciones se puede concluir que el aumento gradual del flujo de la extracción de agua retarda el mezclado completo del tanque, lo que permite prolongar el tiempo de operación del calentamiento indirecto del aire con una temperatura deseada.

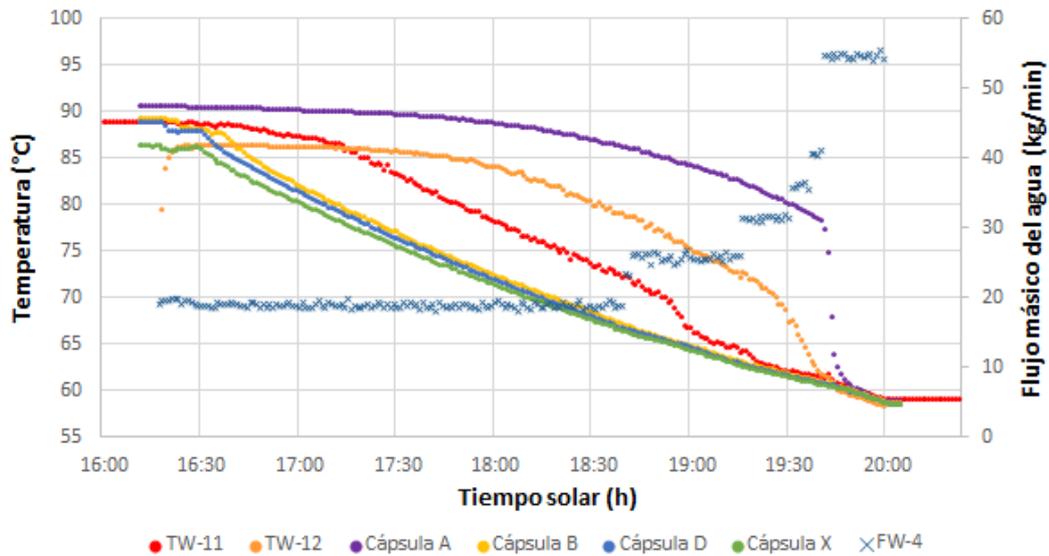


Figura 40 Perfiles de temperatura al interior del tanque y el flujo másico de agua en el intercambiador, durante la operación a flujo variado.

En la Figura 41 se presentan los perfiles de temperatura del agua a la entrada (TW-12) y a la salida (TW-13), del aire a la entrada (TA-34) y a las salida (TA-35) del intercambiador de calor de tubos aletados y las eficiencias térmicas instantáneas; así como el flujo másico de agua en el intercambiador de calor. La temperatura del aire a la salida del intercambiador se mantuvo por encima de los 50 °C durante las 3.13 horas cuando el flujo del agua fue menor a los 40 kg/min. La eficiencia térmica instantánea del intercambiador promedio fue de 0.8438 ± 0.0301 .

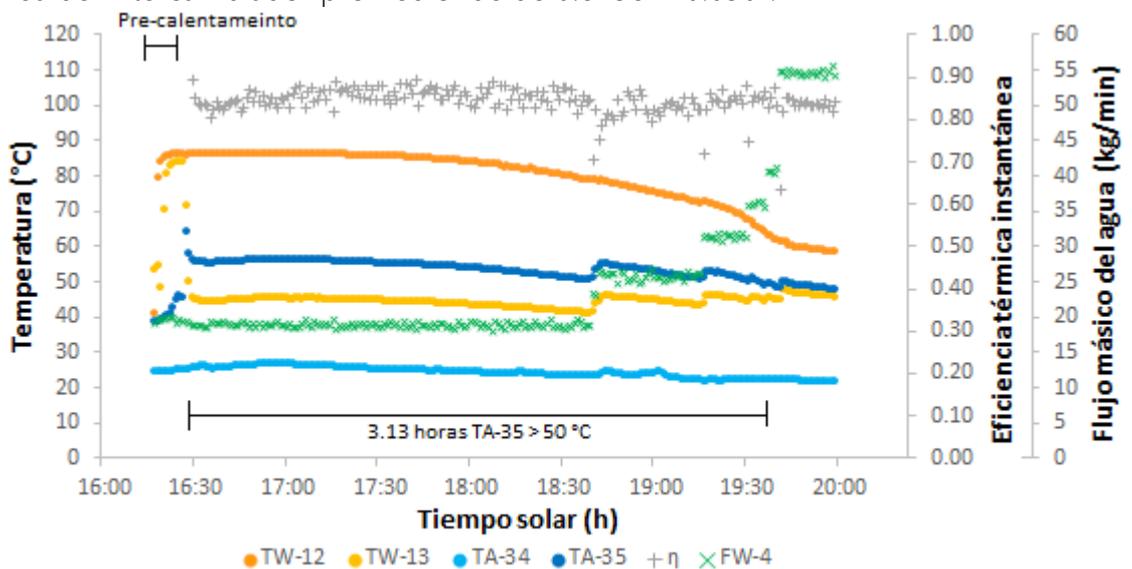


Figura 41 Eficiencia térmica y perfil de temperatura del intercambiador cuando se varía el flujo de agua.

La temperatura promedio del tanque se reduce de 88.27°C a 58.92 °C, aportando un total de 770.84 MJ de energía térmica almacenada en el termotanque al proceso de calentamiento indirecto del aire. El calor útil entregado al aire en el



intercambiador de calor fue de 576.41 MJ, por lo tanto, el 25.22 % de la energía removida en el termostanque se perdió durante el calentamiento indirecto del aire.

Resumen de extracción

En la Tabla 23 se presentan los parámetros de operación efectiva del sistema de calentamiento indirecto del aire mediante la extracción de la energía almacenada en el termostanque.

Tabla 23 Resumen de los parámetros de operación del calentamiento indirecto del aire

Parámetros	Flujo máximo	Flujo variable
Temperatura inicial del termostanque (°C)	87.62	88.30
Temperatura final del termostanque (°C)	63.80	58.92
Energía total cedida por el termostanque (MJ)	616.83	758.17
Energía total cedida por el agua en el intercambiador de calor efectivo (MJ)	560.80	679.92
Temperatura promedio del aire a la entrada del intercambiador (°C)	25.43	24.19
Temperatura promedio del aire a la salida del intercambiador (°C)	58.77	53.30
Energía total recibida por el aire en el intercambiador de calor (MJ)	415.73	576.42
Eficiencia térmica global del intercambiador de calor (%)	74.13	84.35

Conclusiones

Los resultados del análisis térmico han demostrado la viabilidad técnica del uso de tecnologías solares térmicas para el calentamiento indirecto del aire para el secado de productos. Algunos aspectos destacados del trabajo son:

El SCIA es capaz de entregar la temperatura requerida en el proceso de secado de alimentos, es decir, entre 50 °C y 70 ° C.

La extracción de energía en el termostanque paulatinamente desde un flujo bajo hasta un flujo máximo permite aprovechar mejor la energía almacenada; prolongando el tiempo de suministro de calor alrededor de 1 hora en comparación con una extracción a flujo máximo. La extracción paulatina de energía generó mayor estratificación que una extracción a flujo máximo. El campo de colectores solares a base de agua obtuvo eficiencias térmicas alrededor del 50%. La eficiencia térmica del intercambiador de agua-aire con una extracción paulatina (84%) fue mayor que la extracción a flujo máximo (74 %).

Agradecimientos



Este trabajo fue apoyado por el Proyecto FORDECYT No. 190603 y SECAMPO Zacatecas. A la Ing. Jeisell Marisol Cabrera Chairez por su colaboración en la instrumentación y la realización de las pruebas experimentales.

Referencias

- Belessiotis, V., y E. Delyannis. 2011. «Solar drying». *Solar Energy*, Progress in Solar Energy 1, 85 (8): 1665-91. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001>.
- El-Sebaï, A. A., y S. M. Shalaby. 2012. «Solar drying of agricultural products: A review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>.
- Esper, A., y W. Mühlbauer. 1998. «Solar drying - an effective means of food preservation». *Renewable Energy*, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment, 15 (1): 95-100. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00143-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00143-8).
- FAO. 2011. «“Energy-smart” food for people and climate». 2011. <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>.
- Farjana, Shahjadi Hisan, Nazmul Huda, M. A. Parvez Mahmud, y R. Saidur. 2018. «Solar Process Heat in Industrial Systems – A Global Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (febrero): 2270-86. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.065>.
- Fudholi, A., K. Sopian, M. H. Ruslan, M. A. Alghoul, y M. Y. Sulaiman. 2010. «Review of solar dryers for agricultural and marine products». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1): 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>.
- García-Valladares, O., N.M. Ortiz, I. Pilatowsky, y A.C. Menchaca. 2019. «Solar Thermal Drying Plant for Agricultural Products. Part 1: Direct Air Heating System». *submitted to Renewable Energy*, 2019.
- Hollick, J. C. 1999. «Commercial scale solar drying». *Renewable Energy*, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment, 16 (1): 714-19. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00258-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00258-4).
- Karale, S R. 2013. «A Review Paper on Solar Dryer». *International Journal of Engineering Research And* 3 (2): 7.
- Kumar, Mahesh, y Pankaj Khatak. 2016. «Progress in solar dryers for drying various commodities». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55 (marzo): 346-60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>.
- Lamidi, Razaq. O., L. Jiang, Pankaj B. Pathare, Y. D. Wang, y A. P. Roskilly. 2019. «Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: A review». *Applied Energy* 233-234 (enero): 367-85. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.044>.
- Masanet, Eric, Eric Masanet, Ernst Worrell, Wina Graus, y Christina Galitsky. 2008. «Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Fruit and Vegetable Processing Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers». LBNL-59289-Revision, 927884. <https://doi.org/10.2172/927884>.



Misha, S., S. Mat, M. H. Ruslan, E. Salleh, y K. Sopian. 2016. «Performance of a Solar-Assisted Solid Desiccant Dryer for Oil Palm Fronds Drying». *Solar Energy* 132 (julio): 415-29. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.041>.

Mohana, Y., R. Mohanapriya, T. Anukiruthika, K. S. Yoha, J. A. Moses, y C. Anandharamakrishnan. 2020. «Solar Dryers for Food Applications: Concepts, Designs, and Recent Advances». *Solar Energy* 208 (septiembre): 321-44. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>.

Murali, S., P. R. Amulya, P. V. Alfiya, D. S. Aniesrani Delfiya, y Manoj P. Samuel. 2020. «Design and Performance Evaluation of Solar - LPG Hybrid Dryer for Drying of Shrimps». *Renewable Energy* 147 (marzo): 2417-28. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.002>.

Ortiz-Rodríguez, N. M., O. García-Valladares, I. Pilatowsky-Figueroa, y A. C. Menchaca-Valdez. 2020. «Solar-LP Gas Hybrid Plant for Dehydration of Food». *Applied Thermal Engineering* 177 (agosto): 115496. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115496>.

Othman, M. Y. H., K. Sopian, B. Yatim, y W. R. W. Daud. 2006. «Development of advanced solar assisted drying systems». *Renewable Energy, SOUTH/SOUTH*, 31 (5): 703-9. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.004>.

Phadke, Pranav C, Pramod V Walke, y Vilayatrai M Kriplani. 2015. «A REVIEW ON INDIRECT SOLAR DRYERS» 10 (8): 12.

Sharma, Ashish K., Chandan Sharma, Subhash C. Mullick, y Tara C. Kandpal. 2017. «Solar Industrial Process Heating: A Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (octubre): 124-37. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.079>.

Sharma, Atul, C. R. Chen, y Nguyen Vu Lan. 2009. «Solar-energy drying systems: A review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (6): 1185-1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>.

VijayaVenkataRaman, S., S. Iniyar, y Ranko Goic. 2012. «A review of solar drying technologies». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5): 2652-70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.007>.



EFFECTO DEL SECADO EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y COLORIMÉTRICAS DEL QUELITE (*AMARANTHUS* SPP.)

Guillermo Guzmán Castañeda*, Martha Fabiola Martín del Campo Solís, Beatriz Castillo-Téllez y Cecilia Reyes Sánchez

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Norte, Departamento de Fundamentos del Conocimiento, Carretera Federal No. 23, Km. 191, C.P. 46200, Colotlán, Jalisco, México

*Autor de correspondencia: guillermo.guzman7371@alumnos.udg.mx

Resumen

Unos de los objetivos de la industria farmacéutica, y la medicina tradicional es caracterizar y conservar plantas nativas para el consumo humano. Este trabajo presenta las cinéticas de secado de hojas de quelite (*Amaranthus* spp.) en un horno convencional a varias temperaturas (45, 55 y 65 °C) y en un secador solar directo tipo gabinete. El objetivo se centró en determinar la influencia de la temperatura del aire de sobre la pérdida de agua de las hojas frescas de quelite y su relación con las propiedades funcionales antioxidantes y de contenido de pigmentos de clorofila. Adicionalmente, se han probado varios modelos en la literatura para describir los datos de secado. El secador solar alcanzó una temperatura máxima de 60 °C y humedad mínima interior de 17%. Las hojas en el secador solar directo y el horno a 65 °C alcanzaron la humedad de equilibrio en 270 min, mientras que en a 45 °C el tiempo de secado fue de 510 minutos. Se encontró que el modelo Page Modificado fue el que mejor se ajusta a las curvas de secado en capa delgada de hojas de Quelite, con un R^2 mayor a 96.7 en todos los casos. El secado en horno a 55 °C conservó mejor tanto el color de la hoja de quelite, así como sus propiedades funcionales respecto de las hojas frescas. (73, 41 y 24% de las clorofilas a, b, y c respectivamente), mientras que la mayor pérdida se encontró a 45°C con un remanente de 37, 21 y 36% de las clorofilas a, b y c. La actividad antioxidante evaluada por la capacidad de extinción de los radicales libres 1,1-difenil-2-picrilhidrazil y ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) resultó en una actividad remanente de entre 38-42% respecto al contenido en fresco. No hubo una diferencia estadística significativa entre los tratamientos en secado en horno (anova, $\alpha=0.05$).

Palabras clave: Secado de Quelite, cinéticas de secado, secado solar, modelo matemático, propiedades nutrimentales

Introducción

Un gran número de plantas endémicas mexicanas van perdiendo popularidad en su consumo, entre estas, los quelites que incluyen especies de los denominados quintoniles o amarantos (*Amaranthus* spp.) del que se reportan 8 especies principales [1]. Los quelites han demostrado tener cantidades diferenciadas de nutrientes como proteína, fibra, calcio, además de una alta cantidad de compuestos bioactivos como la clorofila, actividad antioxidante relacionada al contenido de compuestos polifenólicos, flavonoides y ácidos grasos poli-insaturados por lo que pueden ser



considerados alimentos funcionales [2]. La mayor de las veces los quelites son consumidos posterior a tratamientos térmicos para disminuir o evitar su toxicidad por cocción, ebullición, escaldado, freído, asados. Una particularidad de la mayoría de los quelites es que son consumidos por recolección por lo general durante el temporal, por lo que su disponibilidad a lo largo del año no está garantizada, por lo que existe una necesidad de implementar métodos de conservación que permitan almacenarlos para su posterior consumo tales como el secado, durante el cual, deben implementarse las condiciones adecuadas para conservar sus propiedades nutraceuticas. Además, el secado disminuye costos de transporte y empaque, ya que el secado disminuye los volúmenes del producto. Desafortunadamente, el secado consume gran cantidad energética durante el proceso, repercutiendo en contaminación ambiental [3]. Es por ello que el secado solar representa una opción factible y sustentable para el secado solar de alimentos [4]. Las características de un alimento al secarse y los modelos matemáticos de capa delgada son necesarios para diseñar, construir y operar sistemas de secado [5].

El objetivo de este estudio es evaluar y analizar el modelo matemático de capa delgada de quelite, así como determinar los cambios en color y propiedades nutricionales de acuerdo a los métodos utilizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

Los quelites fueron colectados en áreas sin perturbamientos humanos en las afueras del municipio de Colotlán, Jalisco. Las hojas fueron separadas del tallo y este fue desechado.

Secado

La experimentación bajo condiciones controladas se llevó a cabo en un horno eléctrico, marca ecoshell en triplicado para cada experimento con temperaturas a 45, 55 y 65 °C. El secado solar se llevó a cabo en un secador solar directo tipo gabinete. El secador solar está fabricado de policarbonato transparente, en el cual se ubica tres diferentes niveles los cuales son utilizados para colocar las muestras con un área de .30 m².

Propiedades funcionales

Extractos acetónicos: 600 mg de muestra seca por triplicado fueron molidos, se adicionaron 25 mL de acetona al 90% y se colocaron en agitación orbital a 100 rpm durante 24 h a temperatura ambiente en ausencia de luz. El sobrenadante se retiró y centrifugó a 1000 rpm durante 15 min. Los extractos se almacenaron a -4 °C en la oscuridad hasta el momento de ser utilizados en la determinación de clorofila.

Extracción de fenoles totales: 0.6 g de muestra seca se mezcló con 40 mL de metanol: ácido (99:1 v/v) durante 24 h, las medidas de fenoles y de actividad antioxidante se hacen sobre la mezcla de los extractos.



Determinación de actividad antioxidante: fue evaluada mediante los ensayos de decoloración de los radicales 2,2-Difenyl-1-picrylhydrazilo (DPPH) a 517 nm, y ácido 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS) a 732 nm. Se utilizó una curva estándar de ácido gálico (0-100 μmol). Los resultados fueron expresados como μmol equivalente de ácido gálico (ET)/100 g de muestra (bs).

Determinación de fenoles totales: Se empleó el método de Folin-Ciocalteu [6] para la determinación de polifenoles totales con incubación a 40 °C durante 20 min, se leyó en un espectrofotómetro a 690 nm. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico.

Determinación de clorofila: se realizó por método colorimétrico. La absorbancia (A) de los extractos acetónicos obtenidos se leyó a 665, 645 y 630 nm en un espectrofotómetro EPOCH2 de Biotek con un paso de 1 cm.

Tratamiento estadístico: Se empleó MINITAB17 para realizar el análisis de medias por la prueba de tukey en un anova de una vía con un índice de confianza de 95%.

Modelos de capa delgada

La función para calcular la relación de humedad (MR) se muestra en la ecuación 1 [4]. El radio de humedad MR está en función del tiempo de secado y es calculado como en [7]:

$$MR = \frac{M_c - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

M_c es el contenido de humedad, M_e es la humedad de equilibrio, and M_0 es la humedad inicial.

Para el modelado se utilizaron métodos estadísticos de regresión y correlación. Estos análisis estadísticos fueron calculados usando el software DataFit 9.1. Se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) como criterio primario para seleccionar el modelo de mejora ajuste a los datos experimentales. Adicionalmente, se calculó la chi-cuadrada reducida, χ^2 y el análisis del error cuadrático medio, RMSE. El mejor ajuste de los datos es aquel que tiene el mayor R^2 y el menor χ^2 y RMSE. [8].

RESULTADOS

El contenido final de humedad representa la humedad de equilibrio entre las muestras y el aire de secado bajo las condiciones experimentales en que se realizó el secado. La humedad inicial de la muestra fue de 82%. En la Figura 2 se observa que la humedad de equilibrio se alcanza en menor tiempo con el horno a 65 °C a los 270, prácticamente al mismo tiempo que con el secador solar directo que alcanzó una temperatura máxima dentro de la cámara de secado de 63° C. La cinética más larga se observa con el horno a 45 °C. Se infiere entonces que el tiempo de secado depende de la temperatura de secado.

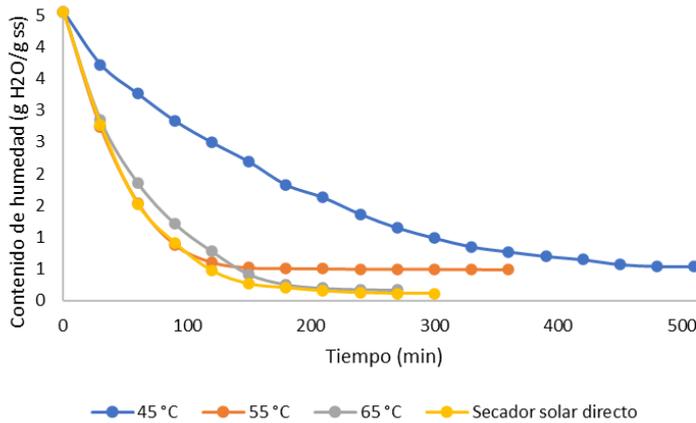


Figura 2 Contenido de humedad vs tiempo de secado

En la Figura 3 puede observarse la velocidad de secado de todos los experimentos. Es notorio que sólo en el secado a 45 °C se observan velocidades de secado constantes, mientras que en las otras cinéticas no existe dichos periodos. Las máximas velocidades de secado son similares para el horno a 55, 65 °C y para el secado solar (alrededor de 0.06 g H₂O/g ss min).

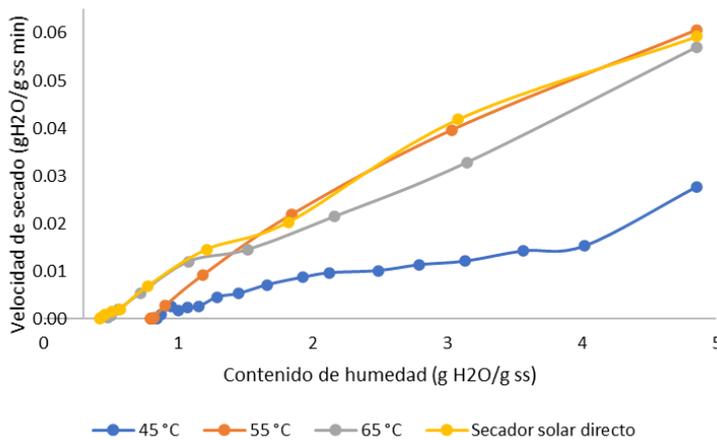


Figura 3 Velocidad de secado dependiendo del tiempo de secado

Las gráficas mostradas en la Figura 4 muestran los ajustes a los resultados experimentales. Puede observarse que el grado de ajuste es alto, con un valor mayor a 0.96 para todos los casos como puede observarse en la Tabla 2. El modelo que puede predecir mejor el comportamiento del secado de Quelite es el Page Modificado, el cual puede utilizarse para dimensionamiento y diseño de secadores para casos similares.

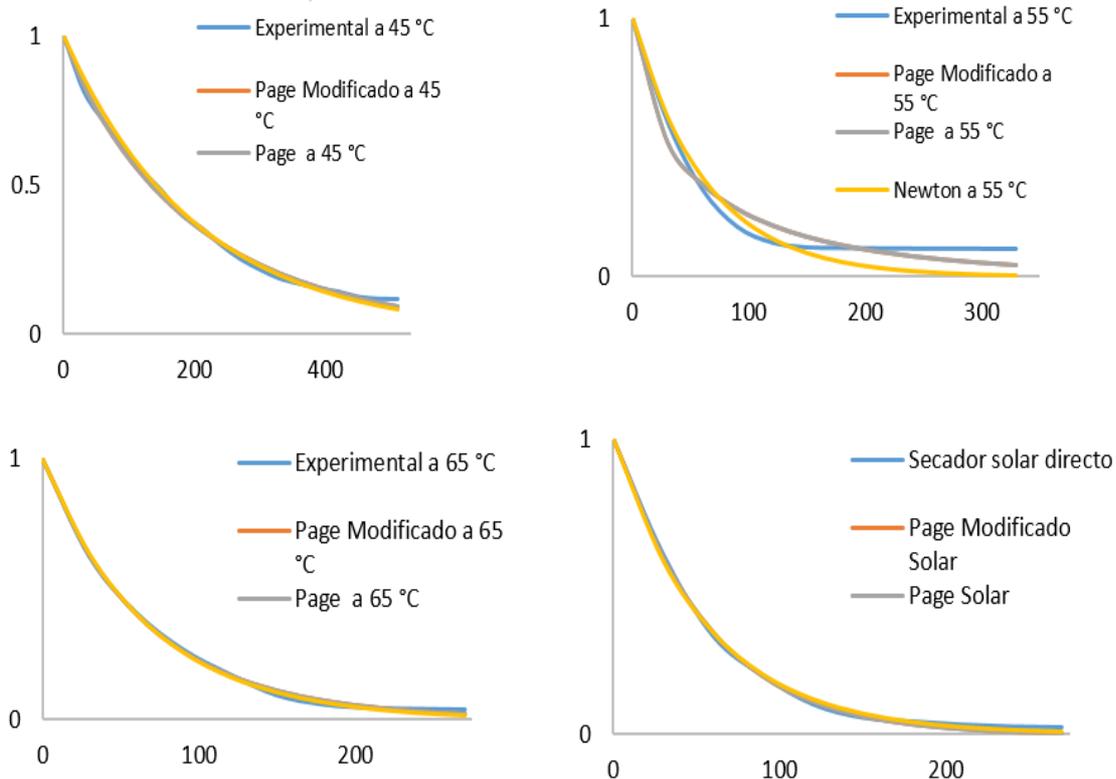


Figura 4 Mejores tres modelos ajustados a resultados experimentales para cada experimento

Tabla 2 Modelos de mejor ajuste, sus coeficientes y parámetros de ajuste

Modelo	Parámetro	Valor a 45 °C	Valor a 55 °C	Valor a 65 °C	Solar directo
Page modificado	k	502	47	11	1761
	n	464	694	702	5694
	R ²	0.99	0.96	0.99	0.9
	RM	770	710	880	9850
	SE	47	816	15	4317
	X ²	017	278	013	0017
Page	k	788	002	63	1481
	n	464	694	702	4287
	R ²	0.99	0.96	0.99	0.9
		770	710	880	9860



		RM	0.012		0.04		0.010		0.0
	SE	47		816		15		1164	
		X ²	0.00		0.00		0.00		0.0
		017		278		013		0017	
n	Newto	k	0.00		0.015		0.015		0.0
		496		90		02		1777	
		R ²	0.99		0.93		0.99		0.9
		948		920		870		9830	
		RM	0.018		0.06		0.010		0.0
	SE	81		552		61		1264	
		X ²	0.00		0.00		0.00		0.0
		037		468		013		0018	

Las propiedades funcionales (Tabla 3) del quelite se ven severamente afectadas por los tratamientos térmicos, especialmente la clorofila al ser expuesta a la luz se descompone en sus derivados de feofitina de color pardo. La pérdida de clorofila respecto al material fresco ronda entre un 26 a un 76% para el secado en gabinete, mientras que el secado solar propicia al menos un 93%. Estos resultados concuerdan con lo obtenido para la actividad antioxidante, la cual es disminuida tras los tratamientos, en términos estadísticos la para la actividad antioxidante no existe una diferencia estadística ($\alpha=0.05$) para secado por horno, mientras que el secado solar merma un 85% la actividad respecto al quelite fresco. Autores que han trabajado previamente secado y tratamientos térmicos para el quelite reportan resultados concordantes respecto a la pérdida de nutrientes funcionales [3, 4].

Tabla 3 Propiedades funcionales del quelite *Amaranthus spp* previo y post-secado

a	Muestr	Clorofil	Activida	Activida	ΔE
	a a,b,c	d	DPPH	d	
		(equivalentes	ácido	ABTS(equivalen	
		mg	gálico/100 g)	tes mg	
		gálico/100 g)		gálico/100 g)	
	Fresca	539,22	3926.8	211.42±3	0
		7,139	±62.7	.0	
	45 °C	203,49,	1695.8±	208.553	1.32
		50	41.7	±3.3	
	55 °C	395,94,	1733.0±	206.74±	1.28
		34	63.5	20.0	
	65 °C	148,67,	1670.7±	325.32±	1.44
		43	31.7	9.6	
	Secado	34,11,17	391.85±	35.58±9.	-
	Solar		0.0	4	



*Los resultados están expresados en base seca.

CONCLUSIONES

Se realizó una comparación tanto de las cinéticas de secado convencional a varias temperaturas y el secado solar directo, así como un análisis de las propiedades organolépticas y nutricionales del producto seco. Los resultados muestran que el secado solar de Quelite es una opción adecuada y sustentable, con tiempos de secado muy competitivos contra el secado en horno convencional (270 min en horno a 65 °C contra 300 min en el secador directo). El Modelo de Page Modificado fue el que más se ajustó a las cinéticas del secado de Quelite en todos los casos, por lo que este modelo puede utilizarse para futuras predicciones. Se requiere el seguimiento de las propiedades funcionales durante las cinéticas para propiciar las mejores condiciones de secado así como realizar un análisis costo-beneficio respecto a la conservación por secado solar para conservar esta planta.

BIBLIOGRAFÍA

[1] R.A. Bye Boettler, E.L. Mazari, Continuidad y aculturación de plantas alimenticias: los quelites especies subutilizadas de México, Mera Ovando, Luz María, Delia Castro Lara & Robert A. Bye Boettler (comps.). Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria. Universidad Nacional Autónoma de México, México, (2011) 11-20,

[2] Y.O. Santiago-Saenz, A.D. Hernández-Fuentes, C.U. López-Palestina, J.H. Garrido-Cauich, J.M. Alatorre-Cruz, R. Monroy-Torres, Importancia nutricional y actividad biológica de los compuestos bioactivos de quelites consumidos en México, *Revista chilena de nutrición*, 46 (2019) 593-605,

[3] F. Lagunes, I. Estrada, J. Guerrero, R. Navarrete, Cinética de secado solar en productos del huerto familiar huasteco, Pérez García-Vicente Rico Moreno-José Luis, (2013) 113,

[4] G. Lopez-García, Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de bioactivos y actividad antioxidante del quintonil (*Amaranthus hybridus*) cosechado en época de primavera y otoño, in: Facultad de química, vol. Master, Universidad Autónoma del Estado de México, CDMX, 2017,

[5] E.C. López-vidaña, A. L. César-Munguía, O. García-Valladares, I. Pilatowsky Figueroa, and R. Brito Orosco, "Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*)," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 845–855, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.09.018.

[6] Yupanqui, M. G., & Sánchez, N. C. "Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos de especies vegetales de Cachicadán, La Libertad-Perú". *REVISTA PERSPECTIVA*, 16(1-2). (2015)

[7] A. Tlatelpa-Becerro, R. Rico-Martínez, E. L. Reynoso-Jardón, G. Urquiza, and M. Ciprian-Rosario, "TGuava thin layer drying kinetics for an indirect solar dryer," in *XXIV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 2018, no. November, pp. 163–168.



[8] I. T. Togrul and D. Pehlivan, "Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers," *J. Food Eng.*, vol. 55, no. 3, pp. 209–216, 2002, doi: 10.1016/S0260-8774(02)00065-1.



EFFECTO DEL SECADO SOLAR DEL GRANO DE CAFÉ EN LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LA BEBIDA EN LA REGIÓN DE HUATUSCO, VERACRUZ

José Gervasio Partida Sedas^{a*}, Emiliano Pérez Portilla^a y Ma. Ángeles Romero Rodríguez^b

^a Centro Regional Universitario Oriente, Universidad Autónoma Chapingo, Huatusco, México.

^b Facultad de Ciencias, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.
Tel.: 595 9521500 Ext. 3060, email: jpartidas@chapingo.mx

Resumen

El café es un grano difícil de secar debido a su alto contenido de humedad, su naturaleza química, la volatilidad de los componentes aromáticos y las condiciones de alta humedad relativa del aire de las regiones donde se procesa. Las elevadas temperaturas aplicadas en el secado mecánico tradicional producen calentamiento excesivo del grano y pérdida de compuestos aromáticos. Esto es un problema grave en los países que producen cafés lavados como México. Como método alternativo se propone el secado solar, pero se requiere optimizarlo y saber su efecto en la calidad. Para conocer el efecto en la bebida se aplicaron 4 tratamientos de secado (ambiente, semi solar, solar y mecánico). Se analizó sensorialmente la bebida mediante un panel de consumidores. Los resultados indican que la bebida de los granos con secado solar tiene características sensoriales similares al secado al ambiente, lo cual es beneficioso para los cafecultores que se dedican a los cafés de alta gama ($p < 0.05$).

Palabras clave: Coffea arabica, análisis sensorial, perfil aromático, análisis multivariante.

Introducción

La calidad de la bebida del café se ve afectado por muchos factores, desde la variedad hasta el procesamiento (Santoyo et al., 1996), el secado es un punto crítico. Romanchik *et al.* (1999) afirman que el grano de café es el más difícil de secar por el alto contenido de humedad inicial (50 a 65%), por la diferente naturaleza química del pergamino y del grano, así como por la volatilidad de los componentes aromáticos. Además de estos factores intrínsecos del grano están las condiciones ambientales de las regiones cafetaleras, principalmente las que se ubican en la vertiente del Golfo de México (norte de Chiapas, Tabasco, norte de Oaxaca, Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí) donde en la época de cosecha y procesamiento existe una alta frecuencia de presencia de masas de aire polar con baja temperatura y elevada humedad relativa (hasta el 100% en el caso de Huatusco, Veracruz). La mayoría de los cafecultores son minifundistas y requieren de una tecnología apropiada de secado del grano para mantener la calidad durante un tiempo prolongado mientras se logra comercializar (Marín, 2013, y Singh, Shrivastava y Kumar, 2018). En estas regiones se aplica el secado al ambiente, pero tarda muchos días con riesgo de contaminación y deterioro de la



calidad. Como alternativa se recurre al secado mecánico con elevadas temperaturas del aire desecante que producen calentamiento excesivo del grano. No obstante, la temperatura del propio grano es la que interesa, porque es la que puede provocar la pérdida de la calidad (Romanchik et al., 1999). Según Sánchez y Zavala (2013) el secado solar tipo invernadero del grano resalta características físicas y organolépticas, definiendo un mejor perfil de taza (bebida de café). En este trabajo se analiza el efecto de diferentes tipos de secado en la calidad sensorial de la bebida de café, para tener elementos de recomendación para los cafecultores minifundistas de las regiones de la vertiente oriental de México.

Materiales y métodos

Se utilizaron frutos de café (*Coffea arábica*) de la variedad *Typica* y se procesaron en la región de Huatusco, Veracruz (humedad relativa >90%, temperatura de 15°C y alta nubosidad). La cosecha fue selectiva, seleccionando frutos a madurez plena. Se eliminó la cáscara del fruto (exocarpio) mediante una despulpadora. Los granos se dejaron reposar ("fermentar") 24 horas para después lavar y orear el grano. Se hicieron micro lotes de 5 kilos de café oreado para cada tratamiento de secado. Las variables que se midieron durante el secado fueron: porcentaje de humedad del grano, que se determinó con una balanza determinadora de humedad marca OHAUS modelo MB23; la temperatura se midió con un termómetro de inmersión de mercurio marca H-B, para el aire de secado cerca de la muestra y para el grano dentro de un envase aislado térmicamente; la temperatura del aire de la secadora mecánica con un termómetro bimetálico de carátula marca Dewit. El proceso de secado se inició con una humedad de 47% y una temperatura de 18.5°C del grano para los diferentes tratamientos de secado. El tratamiento denominado secado al ambiente (T1) consistió en dejar la muestra en una zaranda en condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental del aire (promedio de 18°C y 80% H.R.). El tratamiento de secado semi solar (T2) consistió en iniciar el proceso en un secador solar tipo invernadero (diseño propio y capacidad para 1 t de café pergamino seco), hasta que la humedad del grano llegó a 20% y se terminó el proceso en condiciones ambientales. El tratamiento de secado solar (T3) consistió en dejar la muestra en un secador tipo invernadero cuidando que la temperatura del grano no superara un máximo de 32 °C, regulando la entrada de aire ambiental al secador solar. El tratamiento de secado mecánico tradicional (T4) consistió en introducir el lote de café pergamino en el tambor rotatorio de la secadora tipo Guardiola de 4 Kg de capacidad, al cual se le inyecta con un ventilador los gases de la combustión de gas LP y aire a 80°C, la temperatura del grano no superó los 45 °C y se controló mediante la regulación de la entrada del gas LP al quemador. En todos los tratamientos el secado concluyó cuando el grano llegó a la humedad de equilibrio (12% de humedad). Para la evaluación sensorial de la bebida, se realizó un diseño en bloques completos al azar, y se conformó un panel de 21 consumidores de café semi entrenados (figura 1). Se analizaron las características sensoriales de la bebida: aroma, sabor, regusto, acidez y

cuerpo de acuerdo con el protocolo elaborado por Partida (2018). Para cada uno de estos atributos se evaluó la intensidad y los descriptores evocados por el juez sensorial tomando como referencia aromática las esencias de Le Nez du Café (Lenoir, 2008).



Figura 1. Esquema del procedimiento realizado para evaluar los tipos de secado.

Resultados y su discusión

Las curvas de secado son similares sólo cambia la pendiente de la línea que está relacionada con la rapidez de pérdida de humedad del grano por efecto de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire desecante (figura 2). Los tiempos de secado fueron de 1200, 2600, 8700 y 16700 minutos para el secado mecánico, solar, semi solar y al ambiente respectivamente.

Debido a que el estudio se centró en el efecto en la calidad del café se discuten los efectos bajo este enfoque. Los resultados indican que las mayores intensidades de los atributos los presentó el secado mecánico, salvo el aroma de la bebida. En tanto que los tratamientos donde se aplicó secado solar y ambiental tuvieron comportamiento diferenciado. El secado solar tuvo valores parecidos al secado al ambiente (testigo), aunque mayor intensidad de acidez, pero menor regusto y cuerpo de la bebida.

Mientras que el tratamiento que combinó el secado solar con secado al ambiente tuvo valores bajos en acidez, sabor y regusto de la bebida, algo inesperado. Al realizar un análisis multivariante de componentes principales de los atributos sensoriales de la bebida, los tratamientos se agruparon de acuerdo con su caracterización sensorial. Los dos componentes principales explican el 91% de la variabilidad, la variable que pesa más es el aroma de la bebida (figura 3). En el lado



izquierdo del componente F1 se ubican los tratamientos a los que se les aplicó el secado solar, sobresalientes por su intensidad en el aroma de la bebida. En el centro el testigo, y hacia la derecha el secado mecánico con valores muy bajos en la intensidad aromática de la bebida

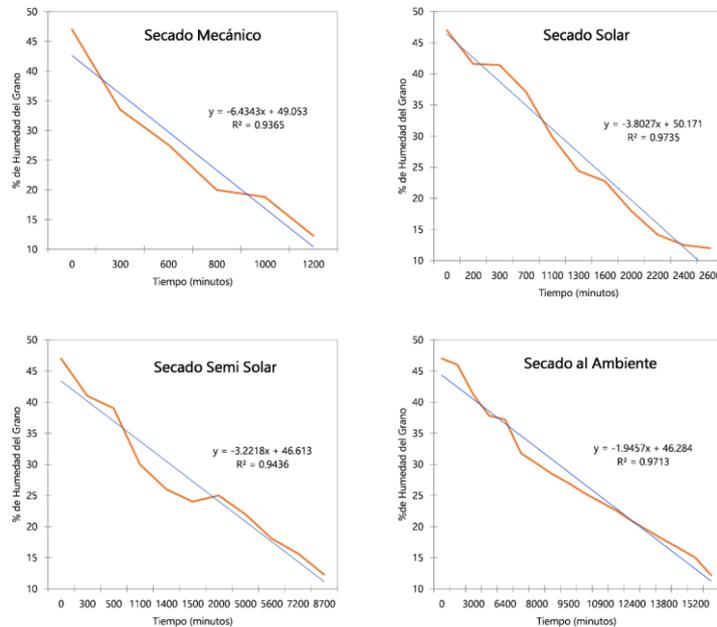


Figura 2. Cinética de los diferentes métodos del secado de los granos de café.

La intensidad de los atributos sensoriales en la bebida de los granos con secado mecánico fue más alta menos en el aroma (tabla 1 y figura 3). Sin embargo, cuando se analiza el perfil aromático de la bebida (figura 4) se observa que éste tratamiento tuvo mayor frecuencia de notas aromáticas consideradas en el mercado de alta gama como de menor calidad en el aroma, sabor y regusto; relacionadas a procesos de degradación térmica (pirolíticos). En tanto que el método semi solar también presentó mayor frecuencia de notas pirolíticas. Mientras que el mejor perfil aromático lo presentó el secado al ambiente, con mayor complejidad aromática a especias, frutal, chocolate y caramelo. El secado solar, tuvo el mismo perfil, pero con menores valores en frecuencias relativas salvo en la nota a chocolate.

Tabla 1. Efecto de los diferentes tratamientos de secado en los promedios de los atributos sensoriales de la bebida de café.

Tipo de secado	Aro ma	Aro			
		Acidez	Cuerpo	Sabor	Regusto
Semi solar (T2)	5.8	4.9c	6.3b	5.2c	6.9ab
Solar (T3)	5.9	8.8a	2.7c	8.2b	6.1b

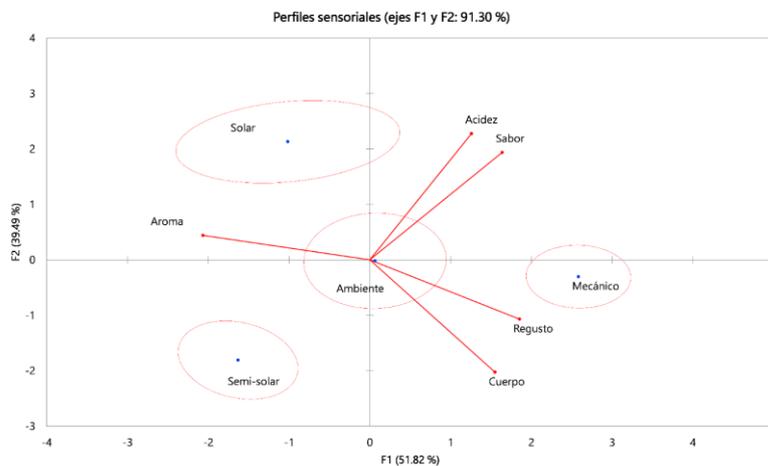


Testigo	6.2	7.6b	5.5b	7.5b	8.2a
o (T1)	a				
Mecán	3.0	8.4a	8.0a	8.6a	8.4a
ico (T4)	b				

Conclusiones

Bajo las condiciones ambientales de Huatusco, Veracruz y con frutos de la variedad de Typica, el secado al ambiente (T1) conserva los precursores aromáticos del grano de café, que se refleja en la intensidad y calidad aromática de la bebida ($p < 0.05$). El secado solar (T3) de los granos tiene un efecto parecido en el perfil aromático de la bebida, con la ventaja de la reducción de 9 días en el tiempo de proceso. El secado semi solar

Figura 3. Agrupamiento de los tratamientos de secado de acuerdo con los atributos sensoriales de la bebida.



(T2) requiere de mayor investigación para optimizarlo con objetivos de calidad, pues presentó aromas pirolíticos, aunque implica una reducción de 5 días con respecto al secado al ambiente. El secado mecánico (T4) es rápido con una duración de 1 día, debido a la elevada temperatura, baja humedad relativa y mayor velocidad del aire, pero daña la calidad aromática de la bebida ($p < 0.05$). Este método no es recomendable a pequeña escala principalmente para aquellos cafeticultores que optan por la calidad de su grano.

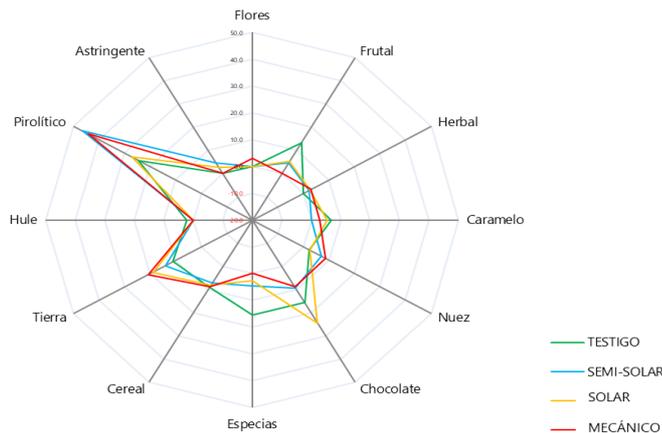


Figura 4. Efecto del tratamiento de secado del grano en el porcentaje de las frecuencias relativas de los grupos aromáticos presentes en la bebida de café.

Literatura citada

- Lenoir, J. (2008). *Le Nez du Café*. Abbaye N.D. d'Orval. Florenville, Bélgica: Ed. Jean Lenoir.
- Marín C.G. (2013). *Control de calidad de café*. Manual técnico. Lima: Equipo técnico del proyecto Fondoempleo. Programa Selva Central-desco.
- Partida S., J.G. (2018). *Análisis sensorial de la bebida de café: protocolo de cata*. (Documento inédito). Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma Chapingo.
- Romanchik, E.; Góngora-Moó, A.; Canché-Trejo, W. (1999) Diseño de una secadora de café pergamino. *Revista Chapingo, Serie Ingeniería Agropecuaria* 2(2) :79-85.
- Sánchez Ch. A. E., Zavala B. J. A. (2013). Secadora solar tipo invernadero. Una alternativa para reducir costos de producción y resaltar la calidad del grano de café. *El cafetal, la revista del caficultor*, 37, 8 – 10.
- Santoyo-Cortés, H.V.; Díaz-Cárdenas, S.; Rodríguez-Padrón, B. (1996). *Sistema Agroindustrial Café en México; diagnóstico, problemática y alternativas*. Universidad Autónoma Chapingo. Primera reimpresión. México.
- Singh P., Shrivastava V., Kumar A. (2018). Recent developments in greenhouse solar drying: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Issue 3, Pages: 3250-3262.



DESHIDRATACIÓN DE PIÑA REBANADA EN UN DESHIDRATADOR SOLAR TIPO GABINETE Y A CIELO ABIERTO

José Rodolfo Pérez Espinosa^{a*}, Octavio García Valladares^b, Alfredo Domínguez Niño^c, Ana Lilia César Munguía^b

^aI+D+I Solar S.A. de C.V., Condominio A Lote 12. Conjunto Urbano Parque Científico y Tecnológico de Morelos No. 1 Int. 11, Col. Alpuyeca, C.P. 62790, Xochitepec, Morelos, México,

^bInstituto de Energías Renovables- UNAM, Privada de Xochicalco S/N, C.P. 62580, Temixco, Morelos, México

^cCátedra-CONACYT-Instituto de Energías Renovables- UNAM, Privada de Xochicalco S/N, C.P. 62580, Temixco, Morelos, México.

*rodolfo.perez@modulosolar.com.mx

Resumen

El presente estudio muestra 4 métodos de secado en los que se evaluaron las cinéticas de secado y el efecto de cada método sobre algunas propiedades fisicoquímicas de la piña. De acuerdo con la caracterización fisicoquímica, la piña tiene un contenido de humedad de 87.7 %, un nivel de actividad de agua de 0.989 y un contenido de azúcares de 11 °Brix. Los parámetros iniciales de color obtenidos son los siguientes L= 73.20, a= 0.98, b= 28.30, croma=28.32 y ángulo hue= 88.02°. Las cinéticas de secado obtenidas mediante distintos métodos de secado (drybox, cielo abierto, horno eléctrico a convección natural, secador a convección forzada) mostraron una reducción del contenido de humedad a niveles de 4.38%, 9.38%, 5.52% y 5.7% respectivamente. El tiempo de secado fue de 7 h para el secador drybox y para el horno a 55 °C, 9 horas para el secador a convección forzada (a 55 °C y 0.5 m/s) y 13 horas para las hojuelas tratadas a cielo abierto. El valor de actividad de agua de la piña deshidratada fue de 0.35 para el drybox, 0.44 para las muestras a cielo abierto, 0.32 para muestras tratadas en horno a 55 °C y 0.46 para rebanadas deshidratadas a convección forzada. La diferencia de color obtenida fue de 14.48, 18.26, 18.67, 16.72 para el drybox, cielo abierto, horno y convección forzada respectivamente. Los resultados indicaron que la mayor diferencia de color se presentó en muestras deshidratadas a cielo abierto, mientras que las muestras deshidratadas en el secador drybox mostraron una diferencia de color menor (14.18). El contenido final de azúcar en las rebanadas deshidratadas indicó valores de 59 °Brix, 50 °Brix, 55 °Brix y 60 °Brix para los métodos drybox, cielo abierto, horno a 55 °C y convección forzada (a 55 °C y 0.5 m/s) respectivamente.

Palabras clave: hojuelas de piña, métodos de secado, contenido de azúcar, propiedades fisicoquímicas, secado de frutas

Introducción

La piña es una fruta tropical de color amarillo, es jugosa y tiene un sabor dulce, se puede consumir fresca, en rebanadas, jugos, jaleas, ensaladas, etc. La producción anual en México durante 2019 fue de 1,041,161 toneladas. Durante toda su cadena de



producción sufre daños, como golpes, maltratos, etc. afectando la calidad del producto. Entre más tiempo pase desde la cosecha hasta el consumo de la fruta, la probabilidad de que se desarrollen enfermedades, o se manifiesten afectaciones fisiológicas aumentará.

A nivel mundial cerca del 21% de las frutas y verduras se pierde desde la cosecha hasta la distribución, y en las etapas de venta al mayoreo y menudeo se desperdicia aproximadamente el 15%. Un factor que contribuye al desperdicio de alimentos es la tendencia a vender productos homogéneos y “perfectos”, en términos de color, forma, tamaño, etc. y los alimentos que no cumplen con estos altos estándares se descartan. Según la FAO, la etapa de consumo en casa es un punto crítico, los porcentajes de desperdicio de alimentos altamente perecederos, como lo son frutas y verduras, son del 9 al 20%.

El secado solar es una alternativa a este problema, ya que es un método de conservación en el cual el contenido de humedad y actividad de agua son reducidos a valores tales que se inhibe el crecimiento de microorganismos evitando así la descomposición de los alimentos. Con el fin de tener un secador solar doméstico accesible para la población mexicana se diseñó un secador solar directo tipo gabinete llamado drybox mini².

Metodología

Para el desarrollo del estudio se utilizó piña fresca, adquirida en la central de abastos de la región de Temixco, Morelos, México. Las pruebas se realizaron en el mes de septiembre de 2020 en Temixco, Morelos en la siguiente localización geográfica: latitud 18.85° N, longitud -99.23° E y altitud 1,269 msnm. Se peló y cortó la piña en rebanadas de 2mm. Se colocaron en las charolas y se siguió el peso de las muestras a lo largo de todo el proceso de secado en cada secador, se registraba el peso cada 20 minutos durante las primeras dos horas y después cada hora hasta que llegara a la humedad de equilibrio, para esto se utilizó la balanza digital Ohaus Adventurer (0-1500 g; ± 0.01)

En estas pruebas se emplearon 4 diferentes métodos de secado (Figura 1) que son drybox mini², secado a cielo abierto, horno eléctrico (a convección natural, 55 °C y 0.5m/s) y secador a convección forzada (a 55 °C). Las variables de respuesta analizadas fueron el contenido de humedad, actividad de agua, diferencia de color y contenido de azúcar.



Figura 1. Métodos de secado para la deshidratación de hojuelas de piña

Métodos analíticos

Para la determinación de humedad se distribuyó una muestra de 1 g de piña en una charola de aluminio a 105 °C utilizando una termobalanza (OHAUS, MB45 con una sensibilidad de 0.001 g). La actividad de agua de las muestras frescas y deshidratadas fue determinada a temperatura constante (25 °C) mediante un medidor de actividad de agua (Higrolab C1). Las propiedades de color de la piña fueron determinadas mediante el uso de un colorímetro portable (NR60CP), el cual fue calibrado con placas blanca y negra. Los parámetros de color fueron determinados por reflectancia y expresados en términos de L (luminosidad), a (rojo-verde), b (amarillo-azul), H (tono) y C (croma) saturación o intensidad. La diferencia de color (ΔE) entre el producto fresco (MF) y el seco (MS) fue calculada de acuerdo al método descrito por Luna-Solano 2019.

Descripción de los secadores

El drybox mini² está elaborado con una cubierta de policarbonato, estructura de aluminio y lámina pintora, sus dimensiones son de 35 x 64 x 26 cm y posee un área total de secado de 0.3 m². La circulación del aire es por convección natural y alcanza temperaturas de hasta 70 °C. Tiene una capacidad nominal de 1500 g de producto fresco y varía dependiendo del tipo de alimento que se requiera secar.

El secador de convección forzada fue diseñado, construido y evaluado en el Instituto de Energías Renovables, UNAM, México (Figura 1). La cámara de secado está hecha de acrílico transparente. Dentro de la cámara de secado hay una bandeja



transparente con un área de 0.35 m². El aire puede circular por la parte superior y/o inferior de la bandeja de secado y circula de manera longitudinal por la bandeja de secado hacia el exterior. Para la determinación experimental se utilizaron velocidades de aire de 0 m/s, 0.5 m/s y 1 m/s. El ventilador tiene una capacidad de flujo volumétrico de hasta 570 m³/h y un sistema de calentamiento que consta de 3 resistencias eléctricas de 1500 W cada una. Cada resistencia puede funcionar de manera independiente y la temperatura es controlada mediante un PID (controlador proporcional integral derivado) el cual usa como sensor de temperatura un termopar PT 1000 que se encuentra localizado en el difusor de aire entre la cámara de secado y el banco de resistencias.

El horno eléctrico a convección natural consta de estructura metálica con puerta y frente de acero inoxidable tipo 304, sus medidas interiores de la cámara de secado son 48 x 48 x 35 cm. Cuenta con un control digital y opera en un rango de temperaturas de 50 °C a 250 °C con una sensibilidad de ± 2 °C. El horno puede actuar por convección natural o convección forzada.

Resultados

Una vez concluidas las pruebas de secado empleando los 4 diferentes métodos, fue posible llevar a cabo la comparación de algunas de las propiedades fisicoquímicas de la piña. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo con Norbrillinda et al. 2016, los valores iniciales de humedad y actividad de agua en la piña, son indicativos de su propensión al deterioro debido a que los productos frescos perecederos tienen actividad de agua altas, normalmente superiores a 0.98.

Las curvas de secado obtenidas para cada método de secado se pueden observar en la Figura 2. El tiempo transcurrido para lograr los respectivos niveles de humedad fueron de 7 h para el secador drybox y para el horno eléctrico (a 55 °C), 9 horas para el secador a convección forzada (a 55 °C y 0.5 m/s) y 13 horas para las hojuelas tratadas a cielo abierto.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la piña fresca y seca.

	Hu medad [%]	Acti vidad de agua	Difere ncia de color	Contenid o de azúcares [° Brix]
Iniciales	87.	0.98	---	11
drybox	7 4.3	9 0.35	14.48	59
Cielo abierto	8 9.3	0.44	18.26	50



Horno eléctrico	2	5.5	0.32	18.67	55
Secador a convección forzada		5.7	0.46	16.72	60

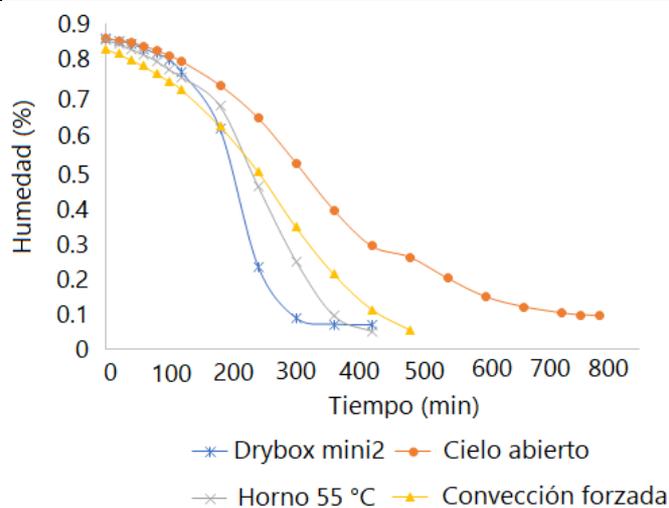


Figura 2. Cinéticas de secado de hojuelas de piña para los métodos de secado

El porcentaje de humedad inicial (87.7 %) y actividad de agua (0.989) fueron reducidos por debajo del 10 % y 0.6 respectivamente, por lo que la piña puede ser considerada estable dado que los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de humedad es menor a 10 % (Tasirin et al. 2014). De acuerdo con Troller, 1980 valores bajos de actividad de agua proveen un alto grado de estabilidad microbiológica y química debido a la remoción del agua presente en el alimento y permite que grandes cantidades de alimento pueda ser almacenado.

Debido a que el color tiene influencia sobre la aceptación o rechazo de los alimentos por el consumidor, fue necesario evaluar la diferencia de color, el cual es un parámetro ampliamente empleado para evaluar la variación de color entre la muestra fresca y la muestra deshidratada (Argyropoulos et al. 2011). Los parámetros iniciales de color obtenidos fueron los siguientes L= 73.20, a= 0.98, b= 28.30, croma=28.32 y ángulo hue= 88.02°.

Conclusiones

Las cinéticas de secado obtenidas mediante diferentes métodos de secado, drybox mini², cielo abierto, horno eléctrico a convección natural y secador a convección forzada mostraron una reducción del contenido de humedad a niveles de 4.38%, 9.38%, 5.52% y 5.7%, respectivamente. El secador drybox mini² presentó los valores más bajos de contenido de humedad. Los niveles de actividad de agua en el



drybox mini² fueron de 0.35, con lo cual la piña deshidratada puede ser conservada durante tiempos prolongados debido a su alta estabilidad microbiológica. El drybox mini², es una solución tecnológica al desperdicio de alimentos que está al alcance de las familias mexicanas, ofreciéndoles la oportunidad de crear sus propios alimentos nutritivos y naturales sustituyendo botanas que aportan pocos beneficios nutritivos al consumidor.

Referencias

- Argyropoulos, D., Muhammad, T.K., Joachim, M. (2011). Effect of air temperature and pre-treatment on color changes and texture of dried *Boletus edulis* mushroom. *Drying Technology* 29, 1890-1900
- FAO. 2019. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Luna-Solano, G., Viloria-Perez, D. G., Villegas-Santiago, J., Salgado-Cervantes, M. A., & Dominguez-Nino, A. (2019). Drying and extraction process of lemongrass (*Cymbopogon citratus*). *Agrociencia*, 53(3), 447-464.
- Tasirin, M.S., Puspasari, I., Sahalan, Z.A., Mokhtar, M., Kamel, M. y Yaakob, Z. (2014). Drying of citrus sinensis peles in an inert fluidized bed: kinetics, microbiological activity, vitamin C, and limonene determination. *Drying Technology* 32, 497-508.
- Troller, J.A. and Christhian, J.H.B. (1980). Water activity-basic concepts. En: water activity and food, (G.F. Stewart, C.O. Chichester, J. Hawthorn, E.M. Mrak, J.K. Scott, E.V. Sydow and A.I. Morgan Eds.), pp. 1-12
- Tun Norbrillinda, M., Mahanom, H., Nur Elyana, N., & Nur Intan Farina, S. (2016). Optimization of spray drying process of *Sargassum muticum* color extract. *Drying Technology*, 34(14), 1735-1744.
- Uriza-Ávila, D. E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Zetina-Lezama, R., & Rebolledo-Martínez, A. (2018). *La piña mexicana frente al reto de*



la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH.



44 Evaluación energética de un sistema termosolar para el calentamiento indirecto de aire en una planta de secado de alimentos en zacatecas

N. M. Ortiz-Rodríguez*, O. García-Valladares

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco s/n, Centro, CP 62580, Temixco, Morelos.

**Corresponding author: nmorr@ier.unam.mx*

Resumen

Los captadores solares para calentamiento de aire no son los únicos sistemas termosolares para las aplicaciones de secado solar. También los captadores solares a base de un fluido térmico líquido se pueden utilizar de forma indirecta usando un intercambiador de calor líquido-gas. Este trabajo presenta el análisis térmico y energético de un sistema de calentamiento de aire indirecto integrado básicamente por un campo de 40 colectores solares a base de agua (92.4 m²), un sistema de almacenamiento térmico de 6150 litros y un intercambiador de calor agua-aire. El sistema se operó en modo almacenamiento y la extracción de energía se realizó variando el caudal de agua a través del intercambiador. La eficiencia promedio del campo de los calentadores solares fue de $\approx 50\%$ y la temperatura máxima alcanzada en el termotanque fue de 90 °C. La capacidad de transferencia de calor en el intercambiador agua-aire fue en promedio de 50 kW, entregando temperaturas entre 50-75 °C, con una eficiencia térmica alrededor entre 70 y 85%. Con la unidad de almacenamiento, el secado de los productos alimenticios agrícolas se puede prolongar más de 2.5 horas continuas, durante las horas sin sol, dependiendo de las condiciones de operación y las condiciones climatológicas.



Introducción

Una de las problemáticas actuales en el ámbito mundial es el abasto de energía sustentable y el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera. Una de las posibles soluciones para estos problemas es utilizar las fuentes de energía renovables, como la solar térmica, para abastecer el creciente consumo de energía en los diversos sectores económicos.

En diversos sectores industriales existen numerosos procesos que requieren energía térmica a temperaturas por debajo de los 250 °C, en la mayoría de los casos esta energía es suministrada por fuentes convencionales (Farjana et al. 2018), cuando bien puede ser suministrada con la implementación de sistemas termosolares. Los sectores industriales identificados como potenciales para el uso de energía termosolar son: procesamiento de alimentos (incluyendo vino y bebidas), pulpa y papel, procesamiento de textiles, equipo de transporte, procesamiento de carne, tratamiento de plásticos, procesos farmacéuticos y químicos, etc (A. K. Sharma et al. 2017).

La industria alimentaria se identifica como el sector industrial dominante hoy en día para los sistemas de calentamiento solar, en procesos como: el calentamiento de agua, la pasteurización, la limpieza, el precalentamiento, el secado y la cocción; siendo los colectores solares de placa plana y los concentradores de canal parabólico las tecnologías termosolares más usada en este sector (Farjana et al. 2018).

En la industria alimentaria, que representa aproximadamente el 30% del consumo de energía del mundo (FAO 2011), el secado comprende una operación unitaria importante e intensiva en energía (Masanet et al. 2008). El secado a escala comercial requiere una enorme cantidad de energía para calentar el aire cuando se secan varios productos alimenticios y existe la oportunidad de utilizar la energía solar en el proceso de secado (Hollick 1999).

En muchos países del mundo, el uso de sistemas térmicos solares para el secado de alimentos ha demostrado ser práctico, económico y con un enfoque responsable ambientalmente (A. Sharma, Chen, y Vu Lan 2009). Entre los diversos tipos de secadores solares, se ha informado que los secadores de convección forzada distribuidos (indirectos) son superiores en velocidad de secado, calidad de secado (Kumar y Khatak 2016) y son los más adecuados para secar grandes cantidades de alimentos (Belessiotis y Delyannis 2011). Normalmente los sistemas de secado solar (SSS) distribuido, están integrados por calentadores solar de aire (SAH, por sus siglas en inglés). Sin embargo, no son los únicos tipos de captadores solares que se pueden usar para SSS. También se pueden usar calentadores solares de agua (SWH, por sus siglas en inglés) para calentar indirectamente el aire usado en el proceso de secado (Fudholi et al. 2010). Además, los sistemas a base de agua pueden servir como almacenamiento térmico durante las horas sin sol (Ortiz-Rodríguez et al. 2020). Los



SSS que involucran el uso de agua como fluido de transferencia de calor y material sensible de almacenamiento de calor, han sido poco estudiados (Murali et al. 2020).

El secado solar se puede utilizar para todo el proceso de secado o para complementar sistemas de secado artificial, reduciendo así la cantidad total de energía de combustible requerida (VijayaVenkataRaman, Iniyar, y Goic 2012). Por lo tanto, los secadores solares ayudan a mitigar el consumo de fuentes convencionales de energía, como los combustibles fósiles, lo que permite reducir las emisiones de CO₂ (Phadke, Walke, y Kriplani 2015).

Además, el secado es un método ancestral para preservar los alimentos y los cultivos agrícolas. Por lo tanto, el secado de alimentos con sistemas termosolares no sólo ayuda a resolver los problemas de abasto de energía sustentable y el deterioro del medio ambiente. Sino también, puede ayudar a abatir el problema mundial del desperdicio de alimentos. En países en desarrollo las pérdidas de alimentos son del 10 al 40%, debido a varias razones como la falta de tecnología adecuada, el cultivo y la fertilización inadecuados, la falta de canales de comercialización, pérdidas de cosecha, a las malas técnicas de procesamiento y la escasez en las instalaciones de almacenamiento (Esper y Mühlbauer 1998)(El-Sebaai y Shalaby 2012)(Kumar y Khatak 2016).

El desarrollo tecnológico del secado solar se ha orientado hacia dos vías: i) secadores simples de baja potencia, baja eficiencia y de vida útil corta, pero económicos; ii) secadores de grandes capacidades, altas eficiencias, mayor durabilidad y por consiguiente más costosos (Othman et al. 2006). La mayoría de los numerosos diseños de secadores solares, que están disponibles, son secadores simples desarrollados para uso familiar o para producción a pequeña escala (Belessiotis y Delyannis 2011) (Lamidi et al. 2019). Se reconoce que las tecnologías de secado se han investigado ampliamente. Sin embargo, hay muy poca información disponible sobre el desarrollo y la investigación de SSS demostrativos con un enfoque en aplicaciones agroindustriales de alta capacidad (Ortiz-Rodríguez et al. 2020). Aunque los SSS son sostenibles, su implementación para aplicaciones de nivel comercial es laboriosa, por lo tanto, aun se requiere investigación en este sentido (Mohana et al. 2020).

Ante este panorama, el desarrollo de tecnologías de secado solar robustas que se adapten a las necesidades del sector agroindustrial y otros sectores industriales resulta relevante para atender las problemáticas actuales de ámbito mundial, mencionadas anteriormente. El principal objetivo del presente trabajo es realizar un análisis del rendimiento térmico y energético de los componentes que integran un Sistema de Calentamiento Indirecto de Aire (SCIA) en una planta termosolar de deshidratado de productos agrícolas.



Materiales y métodos

Descripción general de la planta

La planta termosolar de deshidratado de productos agrícolas, analizada en el presente trabajo, cuenta con un sistema de secado solar distribuido-híbrido por convección forzada. Este sistema está integrado básicamente por:

- Una cámara de secado tipo túnel de operación semi-continua.
- Sistema de calentamiento directo de aire (48 SAHs con un área de 111.1 m²).
- Sistema de calentamiento indirecto de aire
- Sistema convencional (quemador de gas LP).

La integración de las diferentes tecnologías ofrece un sistema de generación de energía térmica versátil, capaz de adaptarse rápida y fácilmente a diferentes modos de funcionamiento: convencional, solar e híbrido, descritos por García-Valladares y colaboradores (García-Valladares et al. 2019). En la Figura 31 se presenta esquemáticamente la distribución de los componentes que integran el sistema de secado de la planta, así como algunos de los sensores instalados para su evaluación.

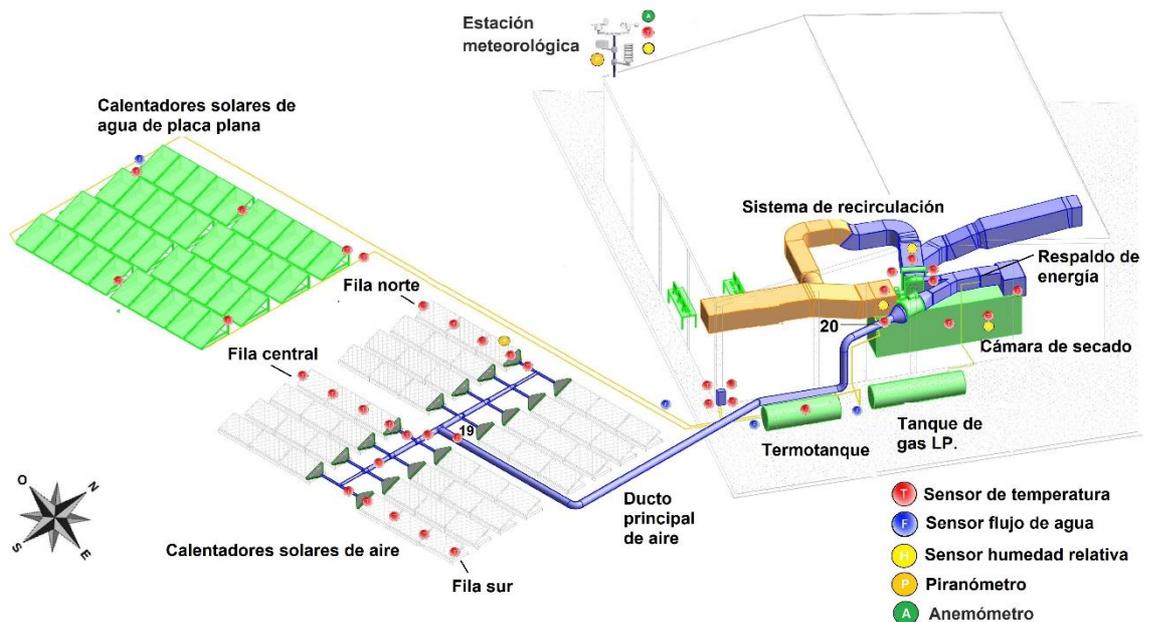


Figura 42 Representación esquemática de la distribución de los componentes e instrumentación que integran la planta.

En el presente trabajo, sólo se presenta el análisis térmico y energético del (SCIA) en modo de operación de almacenamiento. A continuación, se describe dicho sistema.

Sistema de calentamiento indirecto de aire

El de la planta está integrado básicamente: i) un campo de captadores solares planos para el calentamiento de agua, ii) termotanque, iii) intercambiador de calor de



tubos aletados agua-aire, iv) ventilador centrífugo y v) otros auxiliares. En modo de almacenamiento, el agua es almacenada en el tanque térmico para su posterior uso. En la Figura 34 se pueden observar los equipos claves que integran el sistema de calentamiento de indirecto de aire; así como la instrumentación del mismo.

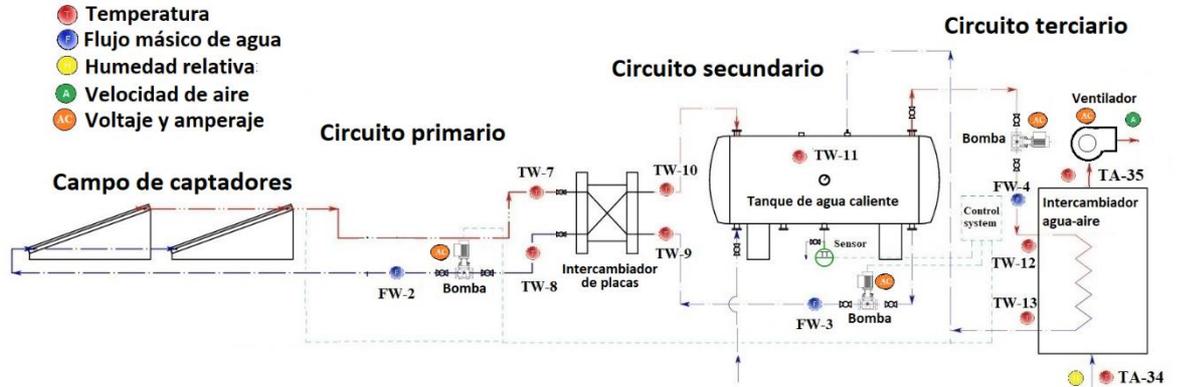


Figura 43 Componentes del SCIA (modo almacenamiento) e instrumentación.

Campo de captadores solares para el calentamiento de agua

El campo de captadores solares cuenta con captadores de placa plana de aluminio y una red de 11 tubos de cobre (risers). Los captadores cuentan con una cubierta de vidrio solar templado texturizado de 4mm de bajo contenido de hierro. El área efectiva de cada captador es de 2.32 m². El campo está integrado por 40 captadores (92.44 m²) orientado al Ecuador con una inclinación de 22.72 ± 0.94. En la Figura 33 se presenta esquemáticamente el arreglo del campo de captadores solares planos para el calentamiento de agua, así como la ubicación de los sensores que registran las variables de interés.

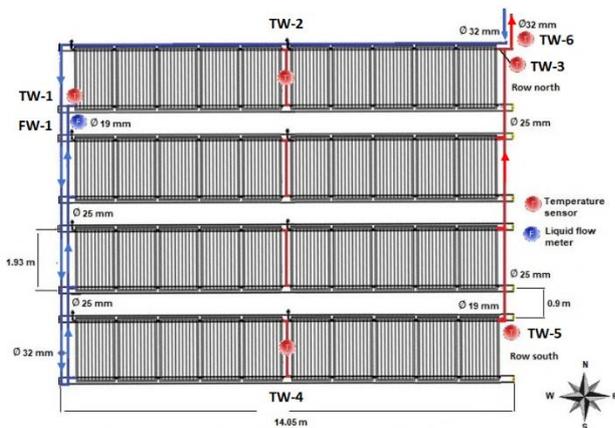


Figura 44 Arreglo de captadores solares para calentamiento de agua.

El sistema de captadores solares para el calentamiento de agua opera por un sistema de circulación forzada integrado por un circuito primario cerrado y un circuito secundario abierto. El circuito primario es el encargado de remover el calor útil del campo de captadores solares mediante la recirculación del agua. Mientras, el circuito secundario es el encargado de transportar el calor útil para su almacenamiento. El



calor útil procedente del campo de captadores solares se transfiere del circuito primario al circuito secundario mediante un intercambiador de calor de placas.

Intercambiador Agua-Aire

Se cuenta con un intercambiador de calor agua-aire que permite el calentamiento indirecto del aire mediante la energía que es captada por el sistema de calentamiento solar. Al interior de los tubos fluye el agua caliente y al exterior de los tubos aletados fluye el aire que gana el calor sensible cedido por el agua caliente.

Ventiladores

El flujo de aire a calentar para el secado es proporcionado un ventilador que cuenta con un variador de frecuencia que permiten regular el caudal de aire requerido a la entrada de la cámara de secado.

Sistema de almacenamiento térmico

Se cuentan con un tanque atmosférico horizontal para el almacenamiento del agua caliente. En el modo de almacenamiento, el sistema cuenta con un control diferencial de temperatura que activa las bombas del circuito primario y secundario. El control está programado para detener las bombas cuando el tanque alcanza una temperatura de 90°C. Cuando se opera el SCIA en modo almacenamiento se cuenta con un circuito terciario. Este se encarga de extraer la energía del tanque y entregarla al intercambiador de tubos aletados. Para ello, se cuenta con a una bomba de agua que sirve para transportar el agua caliente al intercambiador de calor de agua-aire. El agua que sale del intercambiador es recirculado en la parte central del tanque. La bomba está conectada a un variador de frecuencia que permite regular el caudal de agua caliente que pasa por el intercambiador.

Monitoreo e instrumentación

Las variables de operación fueron monitoreadas y registradas simultáneamente en períodos de un minuto mediante dos unidades de adquisición de datos (Agilent, Modelo 34970A), a excepción de las velocidades del aire que fueron registradas manualmente. Se utilizaron transductores (Ibérica modelo PCE-P18, presión de $\pm 2\%$ RH) para el registro simultáneo de temperatura y humedad relativa del aire. Para el registro individual de temperaturas del aire se usaron sensores RTD (PT-1000, presión de $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$). Se utilizó un anemómetro de hilo caliente (TSI modelo 8345; rango (0-30 m/s) y precisión $\pm 3\%$) para medir la velocidad del flujo de aire en los ductos de aire y en las cámaras de secado. La irradiancia se registró con un piranómetro Kipp & Zonen CMP3 (Non-linear $<1.5\%$ (up to 1750 W/m²)). El flujo másico de agua se midió con caudalímetros magnéticos (Seametrics, model SPT-100, precisión $\pm 1\%$ FSO). La distribución de los sensores permite determinar la eficiencia global del campo de captadores, así como la eficiencia del sistema de intercambio entre ambos circuitos, ver Figura 32 y Figura 33. Para el análisis térmico al interior del tanque, se realizó la instalación de sensores de temperatura tipo capsulas inalámbricas



(Water-Proof Thermometer Cole-Parmer, model 90205-22, precisión de $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) a diferentes niveles como se ilustra en la Figura 34.

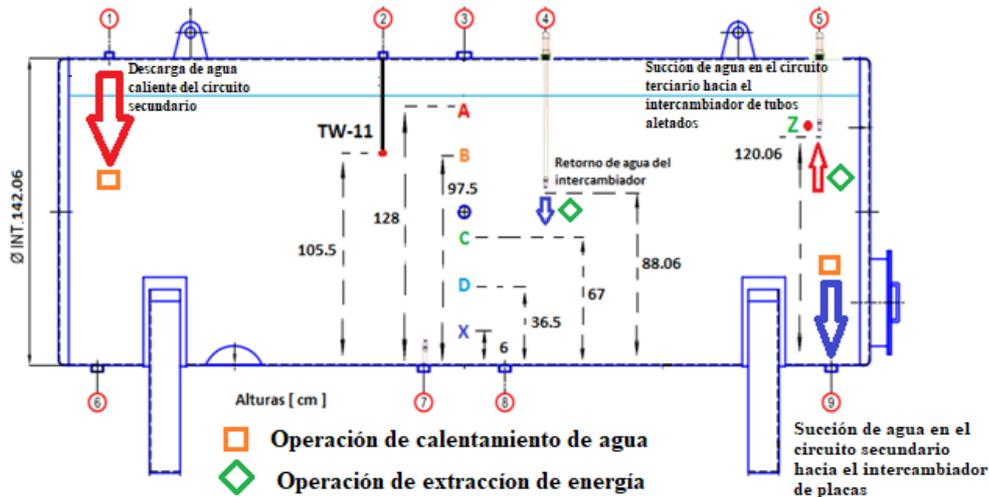


Figura 45 Instrumentación al interior del tanque de almacenamiento de energía.

Procedimiento usado para el procesamiento de los datos experimentales

Para realizar el análisis energético del sistema de calentamiento indirecto del aire se utilizaron los datos experimentales de las temperaturas, flujos máxicos de los fluidos (aire y agua), las humedades relativas del aire y las entradas de energía (solar y eléctrica). La eficiencia térmica instantánea del campo de los colectores solares se define como la relación entre la ganancia de energía útil por el fluido térmico y la energía solar incidente, en un determinado instante, mediante la expresión:

$$\eta_{t,c} = \frac{\dot{m} C_{p_{mf}} (T_{f,out} - T_{f,in})}{I A_C} \quad (6)$$

donde A_C es el área de apertura de los captadores solares, I es la irradiancia solar en el plano del captador, \dot{m} es el flujo máxico del fluido térmico, $C_{p_{mf}}$ es la capacidad calorífica media a presión constante del fluido térmico, $T_{f,in}$ y $T_{f,out}$ son las temperaturas de entrada y salida del fluido térmico, respectivamente.

La eficiencia energética global de los sistemas de captación de energía solar considerando el consumo de la energía eléctrica de los equipos auxiliares (E_{elec}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{g,e} = \frac{E_{u, agua}}{E_{inc} + E_{elec}} \quad (7)$$

donde $E_{u, agua}$ es la energía útil transferida al agua en un lapso de tiempo y E_{inc} es la energía solar incidente. Los calentadores solares de agua no son los únicos intercambiadores de calor del sistema de calentamiento indirecto del aire. También, lo integran los intercambiadores de placas y de tubos aletados y también se tienen algunas pérdidas al medio ambiente. Por lo tanto, un parámetro de interés a



determinar en un intercambiador de calor es la eficiencia térmica instantánea de la transferencia de calor. La cual se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$\eta_{int} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} = \frac{\dot{m}_c C_{p_{mfc}} (T_{fc,out} - T_{fc,in})}{\dot{m}_h C_{p_{mfh}} (T_{fh,out} - T_{fh,in})} \quad (8)$$

Resultados y discusiones

La evaluación del sistema de calentamiento indirecto del aire se realizó operando en modo almacenamiento. En este modo de operación el calentamiento solar del agua y el calentamiento indirecto del aire no se realizan de manera simultánea, debido a que el almacenamiento térmico sirve como respaldo de energía en las horas de baja o nula radiación solar. Por lo tanto, los resultados se presentan en dos secciones: i) el calentamiento solar y almacenamiento del agua y ii) la extracción de energía y calentamiento indirecto del aire. Cabe mencionar, que el análisis térmico y energético presentado no incluye el proceso de secado de un producto en particular, sólo se enfoca al análisis de los componentes del sistema de calentamiento indirecto del aire sin la cámara de secado.

Calentamiento solar y almacenamiento de agua

Se realizaron dos pruebas de calentamiento (20 y 22 de diciembre del 2018) con la mitad del área de captación de los calentadores de agua (fila norte y sur, ver Figura 33). Debido a esto se tiene mayor flujo por fila, aunque el flujo global es similar a de la operación de la configuración normal de cuatro filas.

La prueba realizada el día 22 de diciembre se describe a continuación. Las bombas del sistema de calentamiento de agua se encendieron automáticamente a las 9:10 h con una temperatura al interior del tanque de 41.14 °C y se apagaron automáticamente a las 15:29 h con una temperatura de 58.52 °C, por lo tanto, se tuvo un periodo de prueba efectivo de 6.4 horas continuas en el cual la irradiancia global promedio sobre el plano del captador fue de 932.35 W/m². En la Figura 35 se presentan el perfil de temperatura: a la entrada (TW-1) y a la salida (TW-6) del campo de captadores solares, así como la progresión de la temperatura en el termo tanque (TW-11) y la temperatura ambiente. También se presenta la irradiancia solar en el plano del captador y se puede observar que fue un día totalmente despejado.

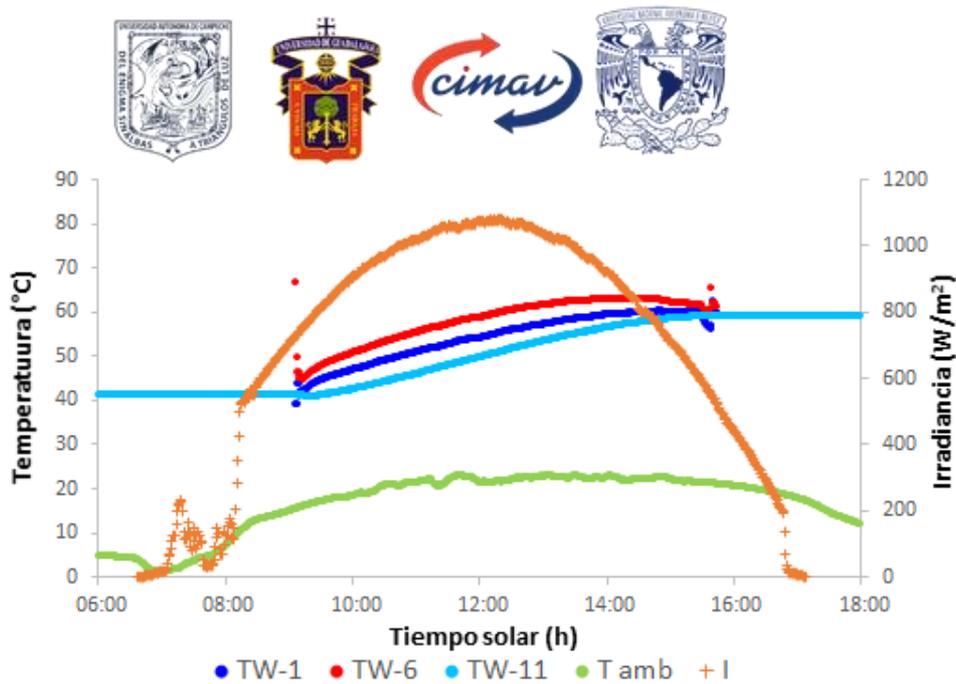


Figura 46 Perfil de temperaturas en el campo de captadores solares para el calentamiento de agua, termotanque e irradiancia solar del 22 diciembre.

En la Figura 36 se presenta las eficiencias instantáneas de la fila norte, fila sur y global del campo de captadores de energía solar para el calentamiento de agua; así como también la energía útil entregada por los captadores solares y la energía acumulada en el termotanque. Durante las 6.4 horas la energía incidente total sobre los 20 captadores solares fue de 984.72 MJ, mientras, que la energía útil removida por el agua fue de 523.95 MJ. Por lo tanto, la eficiencia térmica global del campo de capadores solares fue de 53.2 %, esta eficiencia fue menor que la del día 20 diciembre, pero las temperaturas de operación fueron mayores. Al finalizar la prueba la energía contenida en el agua del tanque fue de 482.35 MJ. Por lo tanto, el 8 % de la energía útil se pierde durante el transporte y almacenamiento del agua al tanque, este parámetro fue similar ligeramente mejor para el día 20 de diciembre.

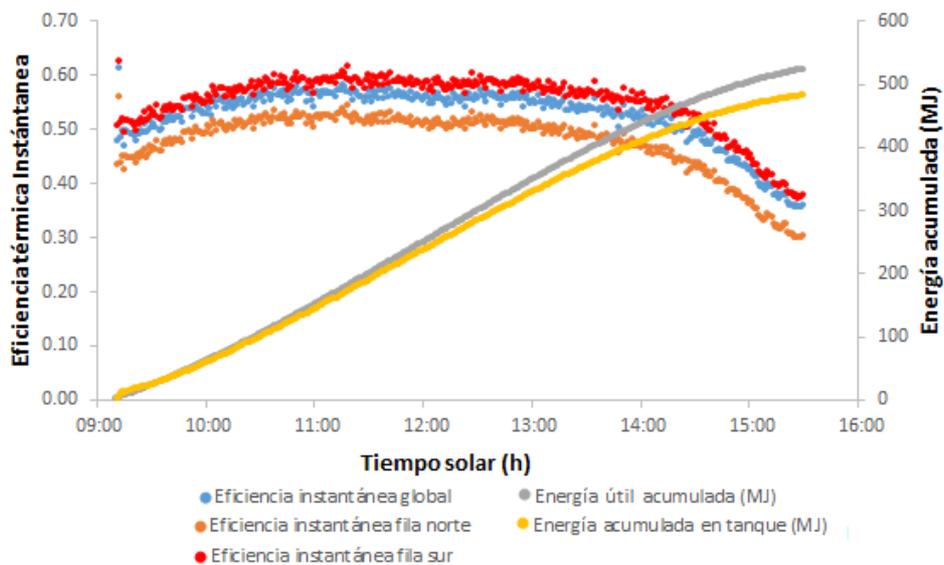


Figura 47 Eficiencias térmicas instantáneas y energía acumulada del día 22 diciembre.



En la Figura 37 se presenta los perfiles de temperatura del agua a diferentes posiciones al interior del tanque. Se puede observar que justo antes del encendido de las bombas existe una estratificación significativa de las temperaturas al interior del tanque, sobre todo de las dos primeras posiciones respecto al fondo (cápsulas D y X). Una vez encendidas las bombas el nivel de estratificación se reduce, debido al movimiento convectivo del agua al interior del tanque ocasionada por la succión (posición 9) y descarga (posición 1, ver Figura 34) del circuito secundario. A pesar de la agitación ocasionada por el encendido de la bomba del circuito primario, se puede observar que la estratificación persiste. De hecho, después de 1.5 horas de iniciado el calentamiento, se puede observar un aumento de la estratificación de temperatura en la parte más baja (X) respecto a las posiciones restantes; esta estratificación vuelve a disminuir conforme la velocidad de calentamiento va disminuyendo durante el atardecer. Con el comportamiento de la estratificación de las temperaturas durante el calentamiento se puede predecir que se forma una corriente con poca estratificación en la parte central del tanque.

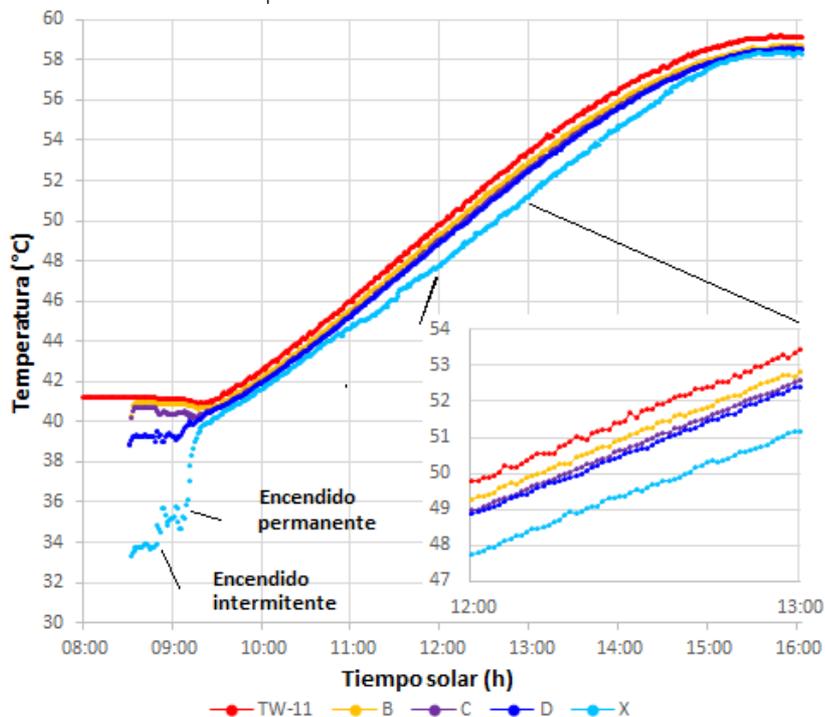


Figura 48 Estratificación de temperaturas en el tanque (22 diciembre).

Resumen de las pruebas de calentamiento

En la Tabla 22 se presentan el resumen de los parámetros de operación relevantes del sistema de calentamiento de agua y almacenamiento de energía en los dos días de prueba. En el caso del campo SWHs, las eficiencias fueron de 52.47-55.34%. Misha y colaboradores reportan un sistema de secado asistido por energía solar mediante SWH de tubos evacuados con eficiencias del campo (31.5 m²) del 56% (Misha et al. 2016), por lo tanto, las eficiencias del presente trabajo son similar a las eficiencias reportadas en la literatura.



Tabla 24 Parámetros de operación del sistema de calentamiento de agua durante las pruebas

Parámetros	20-Dic	22-Dic
Tiempo de operación efectiva (h)	5.5	6.4
Flujo de agua del circuito primario promedio (kg/min)	88.41 ± 3.36	86.84 ± 1.22
Flujo promedio en la fila norte (kg/min)	38.96 ± 2.59	38.38 ± 0.54
Flujo promedio fila sur (kg/min)	49.45 ± 2.78	48.46±0.68
Eficiencia energética global del sistema del sistema de captación solar (%) (Ecuación (4))	54.44%	51.33%
Temperatura del agua almacenada al inicio del calentamiento (°C)	26.21	41.14
Temperatura del agua almacenada al final de calentamiento (°C)	43.65	58.52
Energía almacenada (MJ)	448.19	482.36

Extracción de la energía almacenada y calentamiento indirecto del aire

Con la finalidad de evaluar el comportamiento del sistema de calentamiento indirecto del aire, se probaron dos formas de extraer la energía almacenada en el tanque térmico: flujo máximo y flujo variado del agua a través del intercambiador de calor agua-aire. Para ambas pruebas, la extracción de energía finalizó cuando la temperatura del aire a la salida del intercambiador fue por debajo de los 50 °C. En todas las pruebas el contenido de agua al interior del tanque fue de 6150 kg y el flujo volumétrico de aire a través del intercambiador fue de 6367.78 m³/h.

Flujo máximo

En la Figura 38 se presentan las variables de interés para el análisis de la extracción de energía del termotanque durante el día 10 de enero. Una vez encendida la bomba de agua (55.06±0.51 kg/min) que extrae la energía del termotanque se observar que inicialmente persiste una estratificación, sin embargo, conforme avanza la operación de extracción de energía a flujo máximo las temperaturas al interior del tanque son muy similares lo que indica prácticamente un mezclado completo al interior del tanque.

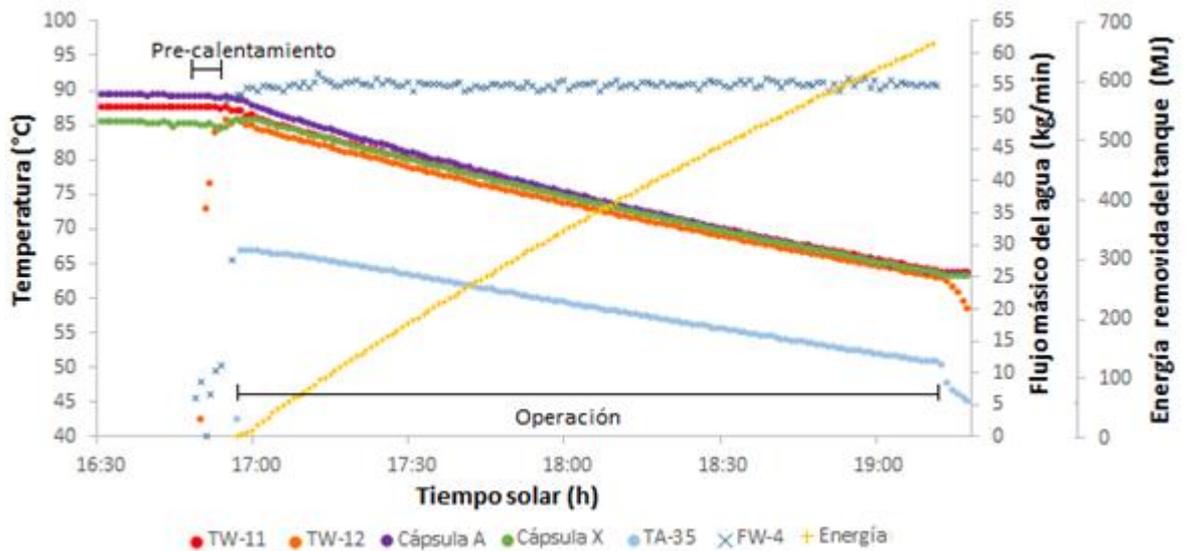


Figura 49 Perfiles de temperatura en el intercambiador y en el termostanque, así como el flujo másico de agua a través del intercambiador durante la operación a flujo máximo.

En la Figura 39 se presentan los perfiles de temperatura del agua a la entrada (TW-12) y a la salida (TW-13), del aire a la entrada (TA-34) y a las salida (TA-35) del intercambiador de calor de tubos aletados y las eficiencias térmicas instantáneas; así como el flujo másico de agua (FW-4). La temperatura del aire a la salida del intercambiador se mantuvo por encima de los 50 °C durante las 2.26 horas de operación. La temperatura máxima del aire a la salida del intercambiador fue de 67°C. La eficiencia térmica instantánea del intercambiador promedio fue de 0.7396 ± 0.0114 .

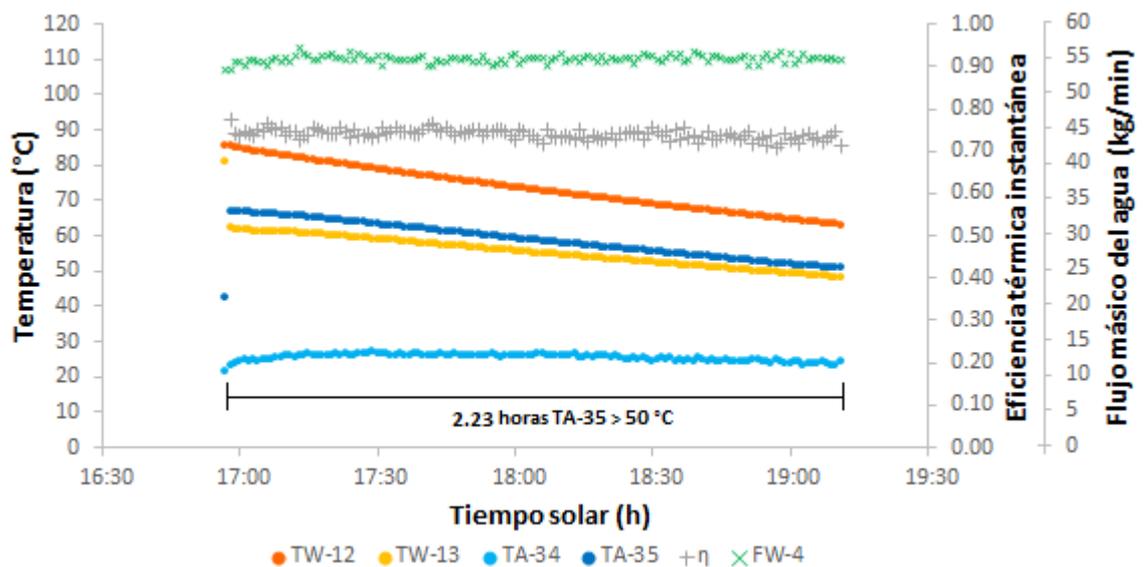


Figura 50 Eficiencia térmica y perfil de temperatura del intercambiador a flujo máximo de agua.

La temperatura promedio del tanque se reduce de 87.61°C a 63.8 °C, aportando un total de 614.23 MJ de energía térmica almacenada en el termostanque



al proceso de calentamiento indirecto del aire. El calor útil entregado al aire en el intercambiador de calor fue de 414.25 MJ, por lo tanto, el 32.53 % de la energía aportada por el termotanque se perdió durante el calentamiento indirecto del aire.

Flujo variado

Durante la operación del SCIA a flujo variado se reguló el caudal del flujo de agua caliente que pasa a través del intercambiador de tal manera que la temperatura del aire a la salida del intercambiador fue de 53.34 ± 2.21 °C. En la Figura 40 se presentan los perfiles de temperatura al interior de termotanque. Se observa que a flujo más bajo (18.9 kg/min) el mezclado es más evidente en las posiciones por debajo de la descarga del retorno del agua. Conforme avanza la operación y aumenta el flujo del agua, el mezclado en otros niveles del agua al interior del tanque comienza a ser relevantes. Cuando se alcanza el flujo máximo (54 kg/min) ocurre un mezclado completo entre las diferentes posiciones registradas al interior del tanque. Por lo tanto, deja de existir una estratificación significativa en entre las posiciones medidas y las temperaturas son prácticamente iguales. Con estas observaciones se puede concluir que el aumento gradual del flujo de la extracción de agua retarda el mezclado completo del tanque, lo que permite prolongar el tiempo de operación del calentamiento indirecto del aire con una temperatura deseada.

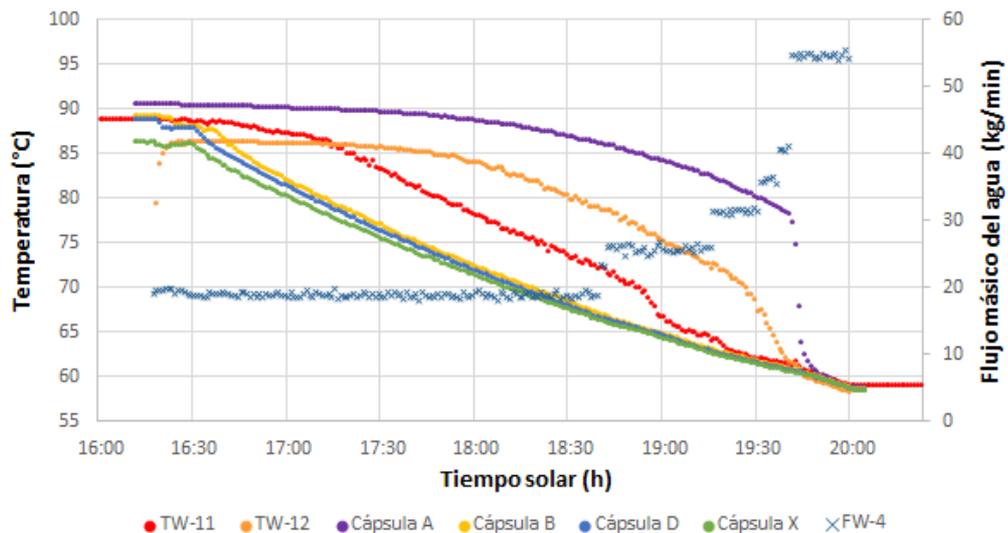


Figura 51 Perfiles de temperatura al interior del tanque y el flujo másico de agua en el intercambiador, durante la operación a flujo variado.

En la Figura 41 se presentan los perfiles de temperatura del agua a la entrada (TW-12) y a la salida (TW-13), del aire a la entrada (TA-34) y a las salida (TA-35) del intercambiador de calor de tubos aletados y las eficiencias térmicas instantáneas; así como el flujo másico de agua en el intercambiador de calor. La temperatura del aire a la salida del intercambiador se mantuvo por encima de los 50 °C durante las 3.13 horas cuando el flujo del agua fue menor a los 40 kg/min. La eficiencia térmica instantánea del intercambiador promedio fue de 0.8438 ± 0.0301 .

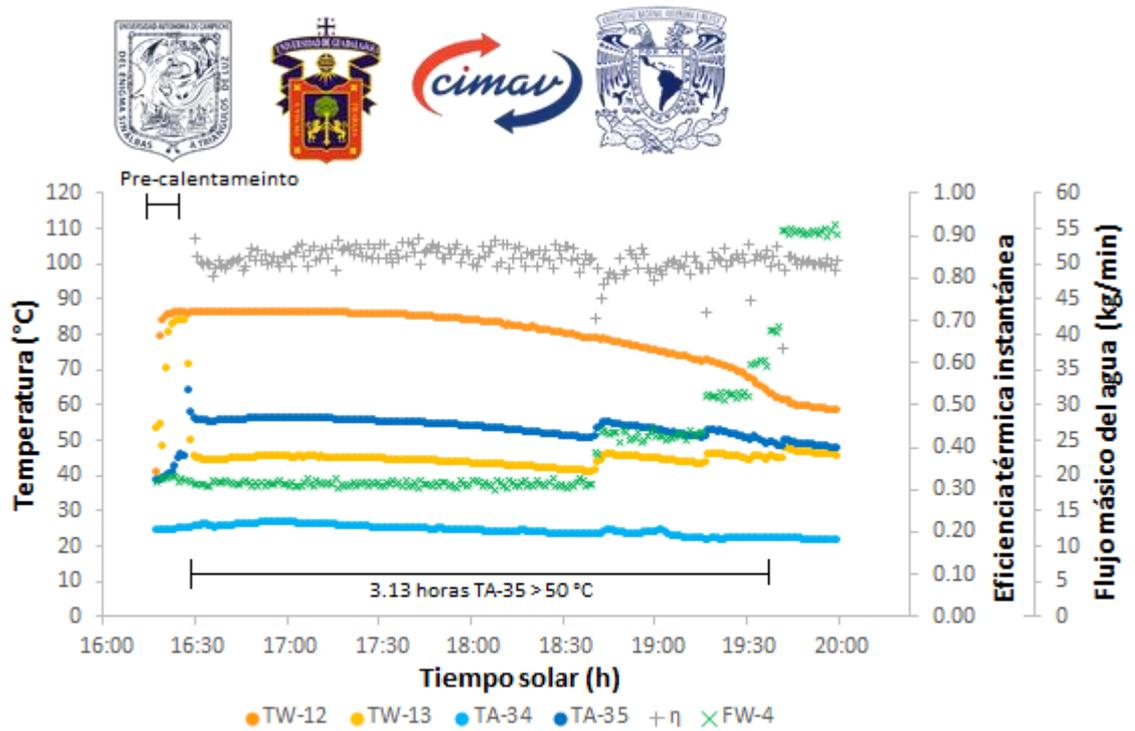


Figura 52 Eficiencia térmica y perfil de temperatura del intercambiador cuando se varía el flujo de agua.

La temperatura promedio del tanque se reduce de 88.27°C a 58.92 °C, aportando un total de 770.84 MJ de energía térmica almacenada en el termotanque al proceso de calentamiento indirecto del aire. El calor útil entregado al aire en el intercambiador de calor fue de 576.41 MJ, por lo tanto, el 25.22 % de la energía removida en el termotanque se perdió durante el calentamiento indirecto del aire.

Resumen de la extracción

En la Tabla 23 se presentan los parámetros de operación efectiva del sistema de calentamiento indirecto del aire mediante la extracción de la energía almacenada en el termotanque.

Tabla 25 Resumen de los parámetros de operación efectiva del calentamiento indirecto del aire durante las tres pruebas

Parámetros	Flujo máximo	Flujo variable
Temperatura inicial del termotanque (°C)	87.62	88.30
Temperatura final del termotanque (°C)	63.80	58.92
Energía total cedida por el termotanque (MJ)	616.83	758.17
Energía total cedida por el agua en el intercambiador de calor efectivo (MJ)	560.80	679.92
Temperatura promedio del aire a la entrada del intercambiador (°C)	25.43	24.19
Temperatura promedio del aire a la salida del intercambiador (°C)	58.77	53.30
Energía total recibida por el aire en el intercambiador de calor (MJ)	415.73	576.42



Eficiencia térmica global del intercambiador de calor (%)

74.13

84.35

Conclusiones

Los resultados del análisis térmico han demostrado la viabilidad técnica del uso de tecnologías solares térmicas para el calentamiento indirecto del aire para el secado de productos. Algunos aspectos destacados del trabajo son:

El SCIA es capaz de entregar la temperatura requerida en el proceso de secado de alimentos, es decir, entre 50 °C y 70 ° C.

La extracción de energía en el termotanque paulatinamente desde un flujo bajo hasta un flujo máximo permite aprovechar mejor la energía almacenada; prolongando el tiempo de suministro de calor alrededor de 1 hora en comparación con una extracción a flujo máximo.

La extracción paulatina de energía generó mayor estratificación que una extracción a flujo máximo. El campo de colectores solares a base de agua obtuvo eficiencias térmicas alrededor del 50%.

La eficiencia térmica del intercambiador de agua-aire con una extracción paulatina (84%) fue mayor que la extracción a flujo máximo (74 %).

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Proyecto FORDECYT No. 190603 y SECAMPO Zacatecas.

Referencias

- Belessiotis, V., y E. Delyannis. 2011. «Solar drying». *Solar Energy*, Progress in Solar Energy 1, 85 (8): 1665-91. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001>.
- El-Sebaei, A. A., y S. M. Shalaby. 2012. «Solar drying of agricultural products: A review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>.
- Esper, A., y W. Mühlbauer. 1998. «Solar drying - an effective means of food preservation». *Renewable Energy*, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment, 15 (1): 95-100. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00143-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00143-8).



- FAO. 2011. «“Energy-smart” food for people and climate». 2011. <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>.
- Farjana, Shahjadi Hisan, Nazmul Huda, M. A. Parvez Mahmud, y R. Saidur. 2018. «Solar Process Heat in Industrial Systems – A Global Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (febrero): 2270-86. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.065>.
- Fudholi, A., K. Sopian, M. H. Ruslan, M. A. Alghoul, y M. Y. Sulaiman. 2010. «Review of solar dryers for agricultural and marine products». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1): 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>.
- García-Valladares, O., N.M. Ortiz, I. Pilatowsky, y A.C. Menchaca. 2019. «Solar Thermal Drying Plant for Agricultural Products. Part 1: Direct Air Heating System». *submitted to Renewable Energy*, 2019.
- Hollick, J. C. 1999. «Commercial scale solar drying». *Renewable Energy, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment*, 16 (1): 714-19. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00258-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00258-4).
- Karale, S R. 2013. «A Review Paper on Solar Dryer». *International Journal of Engineering Research And* 3 (2): 7.
- Kumar, Mahesh, y Pankaj Khatak. 2016. «Progress in solar dryers for drying various commodities». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55 (marzo): 346-60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>.
- Lamidi, Razaq. O., L. Jiang, Pankaj B. Pathare, Y. D. Wang, y A. P. Roskilly. 2019. «Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: A review». *Applied Energy* 233-234 (enero): 367-85. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.044>.
- Masanet, Eric, Eric Masanet, Ernst Worrell, Wina Graus, y Christina Galitsky. 2008. «Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Fruit and Vegetable Processing Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and



Plant Managers». LBNL-59289-Revision, 927884.
<https://doi.org/10.2172/927884>.

- Misha, S., S. Mat, M. H. Ruslan, E. Salleh, y K. Sopian. 2016. «Performance of a Solar-Assisted Solid Desiccant Dryer for Oil Palm Fronds Drying». *Solar Energy* 132 (julio): 415-29. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.041>.
- Mohana, Y., R. Mohanapriya, T. Anukiruthika, K. S. Yoha, J. A. Moses, y C. Anandharamakrishnan. 2020. «Solar Dryers for Food Applications: Concepts, Designs, and Recent Advances». *Solar Energy* 208 (septiembre): 321-44. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>.
- Murali, S., P. R. Amulya, P. V. Alfiya, D. S. Aniesrani Delfiya, y Manoj P. Samuel. 2020. «Design and Performance Evaluation of Solar - LPG Hybrid Dryer for Drying of Shrimps». *Renewable Energy* 147 (marzo): 2417-28. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.002>.
- Ortiz-Rodríguez, N. M., O. García-Valladares, I. Pilatowsky-Figueroa, y A. C. Menchaca-Valdez. 2020. «Solar-LP Gas Hybrid Plant for Dehydration of Food». *Applied Thermal Engineering* 177 (agosto): 115496. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115496>.
- Othman, M. Y. H., K. Sopian, B. Yatim, y W. R. W. Daud. 2006. «Development of advanced solar assisted drying systems». *Renewable Energy*, SOUTH/SOUTH, 31 (5): 703-9. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.004>.
- Phadke, Pranav C, Pramod V Walke, y Vilayatrai M Kriplani. 2015. «A REVIEW ON INDIRECT SOLAR DRYERS» 10 (8): 12.
- Sharma, Ashish K., Chandan Sharma, Subhash C. Mullick, y Tara C. Kandpal. 2017. «Solar Industrial Process Heating: A Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (octubre): 124-37. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.079>.
- Sharma, Atul, C. R. Chen, y Nguyen Vu Lan. 2009. «Solar-energy drying systems: A review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (6): 1185-1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>.



VijayaVenkataRaman, S., S. Iniyar, y Ranko Goic. 2012. «A review of solar drying technologies». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5): 2652-70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.007>.