

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INDIRECTO DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICA DE AIRE, APLICADO AL SECADO DE HIERBAS

J. M. Morsetto, A. I. Lema, M. I. Pontin y J. M. Lucchini

Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería – Grupo de Energía Solar
Ruta Nacional 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto
Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: alema@ing.unrc.edu.ar

Recibido 11/08/18, aceptado 25/09/18

RESUMEN: El objetivo de este trabajo, fue desarrollar un equipo de secado indirecto sustentado completamente con energía solar. El sistema de calefacción de aire para el secado, utiliza un colector solar de tubos evacuados para aumentar la energía térmica del agua, que luego es transferida parcialmente al aire en un intercambiador de calor agua-aire. El agua circula por efecto termosifón en un circuito cerrado entre el colector solar y el intercambiador de calor, mientras que el aire ingresa al equipo mediante un ventilador y atraviesa el intercambiador de calor antes de entrar a la cámara de secado. Los requerimientos eléctricos del sistema son provistos por un panel fotovoltaico. El equipo desarrollado fue ensayado y los resultados se presentan en gráficos. Se demuestra que es posible desarrollar un equipo que utilice únicamente energía solar, logrando un secado adecuado en relación a la calidad del producto obtenido y el tiempo empleado.

Palabras clave: secado indirecto; hierbas aromáticas; calentamiento de aire, flujo termosifónico.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hierbas aromáticas y medicinales tiene como objetivo principal la producción de aceites esenciales y/o de hierbas secas para el mercado herbolario o alimenticio (Ringuelet et al., 2000). Actualmente la producción y/o recolección de plantas medicinales y aromáticas se presenta como una alternativa de diversificación productiva para predios familiares, complementaria a la horticultura (Banchero et al., 2008).

Argentina produce materia prima de excelente calidad, pero actualmente se le está haciendo muy difícil competir en el mercado internacional. Un camino para mejorar la competitividad es el valor agregado de la producción y la calidad del producto final (Paunero, 2017).

En relación a la calidad del producto obtenido, los secadores solares indirectos presentan numerosas ventajas, por ejemplo, permiten un mayor control en el proceso, facilitan la manipulación de los productos, permiten integrar una fuente auxiliar de energía y posibilitan el secado de productos sensibles a la radiación solar directa sin pérdida de calidad, ya sea color natural, destrucción de vitaminas y/o valor nutritivo (Corvalán et al., 2000).

La operación de secado, debe producir entonces, la mayor pérdida posible de agua libre del vegetal recién cosechado y a una temperatura que no supere los 50°C, evitando así, pérdidas de aceite esencial y de calidad en el producto obtenido (Bandoni, 2000). Desde esta perspectiva, la posibilidad de hacer el secado a bajas temperaturas in situ, contribuiría a mejorar la calidad del producto seco obtenido. La utilización del recurso solar como única fuente de energía presenta la ventaja de poder desarrollar el emprendimiento de secado de manera autónoma en la cercanía de los sembradíos.

En este trabajo se presenta el desarrollo y montaje de un equipo de secado indirecto que utiliza la energía solar como única fuente de energía para cubrir los requerimientos térmicos y eléctricos

demandados en la operación de secado. Se implementa un sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire, que permite obtener un producto seco de alta calidad.

El equipo de secado, integrado al sistema indirecto de calentamiento del aire, fue ensayado en su conjunto y los resultados se presentan en gráficos, concluyendo que el diseño propuesto es técnicamente viable, conveniente en cuanto utiliza solamente energía solar y adecuado en relación a la calidad del producto obtenido y al tiempo de secado.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE SECADO DESARROLLADO

El equipo de secado desarrollado y analizado en este trabajo, se muestra en la figura 1 y está compuesto básicamente por un sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire, una cabina de secado y un sistema fotovoltaico que provee la energía eléctrica requerida.

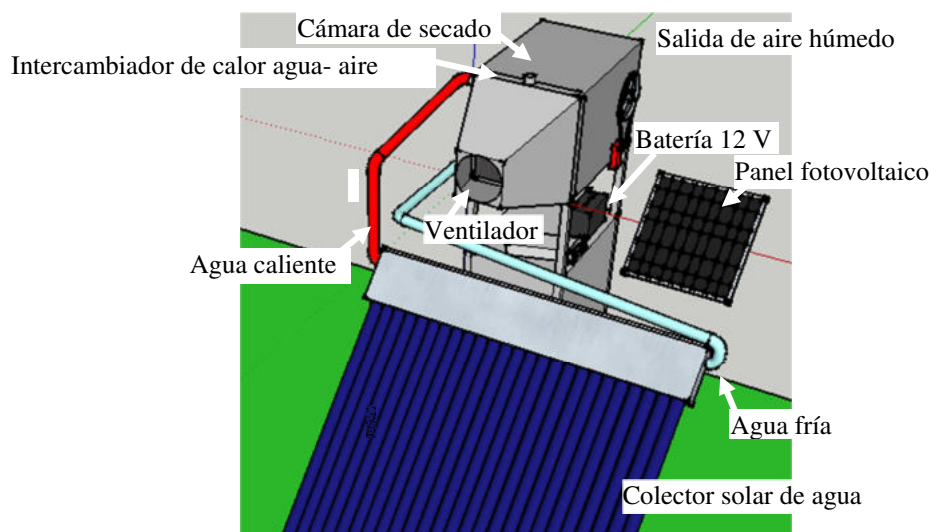


Figura 1. Esquema del equipo de secado solar indirecto

El diseño del equipo de secado, fue pensado hace dos años, de manera que pudiera desempeñarse utilizando solamente energía solar, siempre que el recurso solar estuviera disponible. A partir de entonces, se ha venido trabajando en el desarrollo del diseño y en su construcción.

En un trabajo inicial, (Garnica et al., 2016), se evaluó el desempeño del intercambiador de calor aire-agua (figura 1), que se utilizaría en el calentamiento del aire para el secado y se analizó la posibilidad que el agua se moviera por efecto termosifón a través del intercambiador de calor. Los resultados fueron alentadores y se obtuvo de la experimentación, información relevante para avanzar en el diseño definitivo. Se procedió a la construcción de la sección de ingreso del aire y de la cabina de secado con un diseño de bandejas giratorias accionadas manualmente (figura 1). En un trabajo posterior, (Lema et al., 2017), se estudió el funcionamiento del secadero bajo condiciones de operación controladas, lo cual fue posible mediante la utilización de una máquina de ensayos. Se concluía que, para condiciones de procesos semejantes a las utilizadas durante la experimentación, el desempeño del secadero era satisfactorio, en relación al tiempo de secado y la calidad del producto seco obtenido.

A los fines de completar la ejecución del diseño, en este trabajo se incorpora a lo ya desarrollado, la implementación de un sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire y su utilización en el secado de perejil. Se automatizó también la rotación de las bandejas ubicadas en la cámara de secado, y se incorporó la utilización de energía solar fotovoltaica para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica durante el proceso de secado.

DISEÑO DEL SISTEMA INDIRECTO DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICA DE AIRE

El diseño del sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire, puede observarse en la figura 2. El agua es el fluido caloportador, se calienta en un colector solar y se mueve en un circuito cerrado por efecto termosifón, sin la utilización de bombas impulsoras. La energía que se almacena en el agua, es luego transferida parcialmente al aire, en el intercambiador de calor agua-aire.

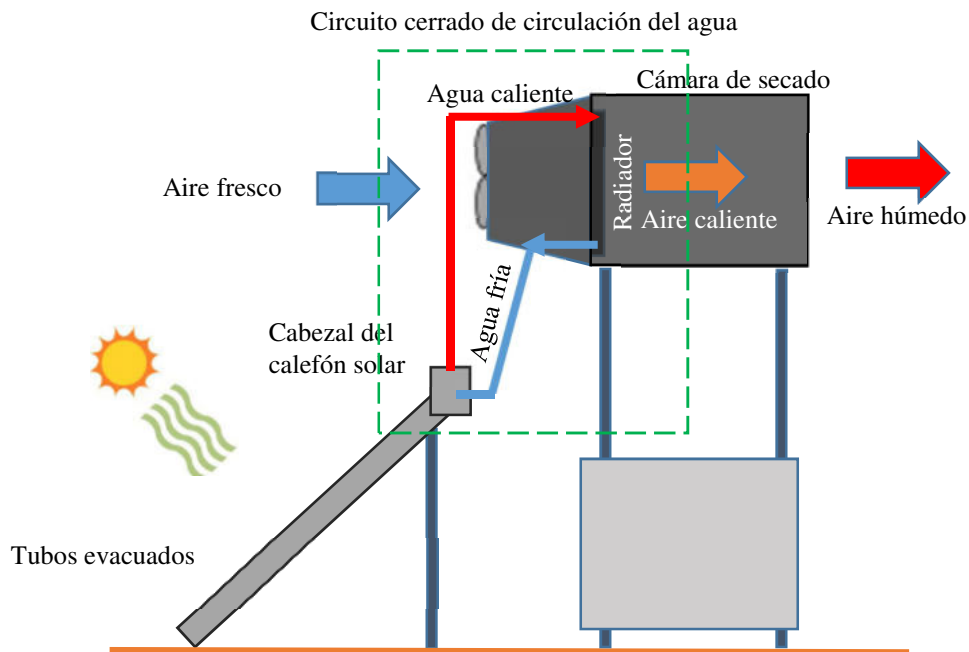


Figura 2 Sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire

El intercambiador de calor, es un radiador de uso automotriz, de paso simple, con aletas exteriores y los tubos por donde circula el agua, también están aletados interiormente. El radiador consta de un domo superior, por donde ingresa el agua caliente, un panel de tubos y aletas, que es donde se hace el intercambio de calor y un domo inferior donde se recoge el agua fría que sale del radiador. La entrada y la salida están del mismo lado del radiador (Garnica et al., 2016).

En su paso por el colector solar, el agua incrementa su temperatura y consecuentemente disminuye su densidad. La diferencia de densidades entre el agua caliente y fría, genera la fuerza impulsora para flujo termosifónico. Luego a los fines de favorecer el efecto termosifón, fue necesario diseñar el circuito de agua, con la menor pérdida de carga posible, considerando que la caída de presión en el radiador era inevitable y que la selección del calefón solar a utilizar resultaba determinante.

Flujo termosifónico. Fundamentos

Los sistemas de calentamiento solar de agua que utilizan el principio de funcionamiento termosifónico, se basan en la variación de la densidad con la temperatura. En el caso del agua, la densidad disminuye con el aumento de la temperatura, esto hace que en un circuito cerrado de agua, si aplicamos calor a una parte del circuito, el agua caliente tenderá a subir, debido a su menor densidad, mientras que el agua fría bajará para ocupar ese espacio vacío, generando de esta manera una circulación del agua.

En un colector solar, el flujo debido al efecto termosifón, dependerá de las condiciones climáticas, del estado del agua en las distintas partes del circuito y de las pérdidas de carga. Los valores máximos de estos caudales son del orden de los 0,011 kg/s, lo cual es un valor extremadamente bajo, ocasionado por una diferencia de presión que a lo sumo es de 30 mm de columna de agua (Morrison y Ranatunga, 1980).

Debido a que la fuerza impulsora del movimiento del fluido es pequeña, no es posible introducir caudalímetros en el circuito ya que ocasionarían caídas de presión, que por pequeñas que sean, afectarán sustancialmente el flujo termosifónico de los colectores solares. Entre los dispositivos aptos

para determinar estos bajos caudales, se encuentra el medidor de caudal Láser-Doppler, que es ideal desde el punto de vista técnico, ya que no introduce ninguna perturbación al flujo dentro de la tubería, pero el costo del equipo es muy elevado (Lucchini et al., 2007).

El diseño y montaje del circuito cerrado del agua, se realizó entonces de modo de agregar la menor pérdida de carga posible a la producida en el radiador y no se incluyeron caudalímetros en la tubería. Si bien, no fue posible medir el caudal de agua a través del circuito cerrado, debido a que no se disponía de los dispositivos adecuados, se evidenció su existencia, a partir de la evolución de las temperaturas registradas durante los ensayos realizados con el equipo completo operando.

Selección del calefón solar. Fundamentos

Entre los colectores solares disponibles en el laboratorio del GES (Grupo de Energía Solar de la Universidad Nacional de Río Cuarto), el que presentaba características más favorables, es uno de tubos evacuados, del tipo water-in-glass, conocido como “manifold”, cuyo nombre deviene del inglés técnico, donde en distintas acepciones se le traduce como múltiple, tubo, distribuidor o colector.

El principio de funcionamiento básico del sistema water-in-glass, se esquematiza en la figura 3. Consta de un vaso de doble pared de vidrio (borosilicato) donde se ha hecho vacío, estando la pared interna recubierta de un material selectivo que absorbe la radiación solar. Al haber vacío entre la pared interna y la externa, se minimizan las pérdidas de calor por conducción y convección. De las bajas pérdidas radiativas da cuenta el material selectivo que absorbe mucho en el espectro electromagnético visible e infrarrojo de onda corta y emite poco a partir del infrarrojo de onda larga. Los sistemas del tipo water-in-glass, tienen una inercia térmica muy grande (Barral et al, 2017).

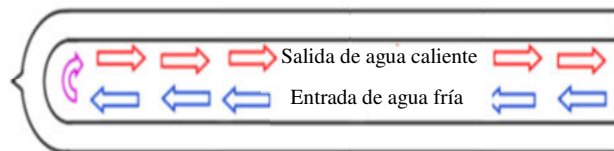


Figura 3: Tecnología del sistema water-in-glass

En la figura 4, se muestra el colector solar utilizado del tipo water-in-glass (provisto por la empresa HITEC Solar de la ciudad de Córdoba). Es un equipo de 25 tubos, lo cual implica que tiene una masa de agua de unos 75 kg cuando está en funcionamiento. El equipo tiene una estructura soporte que lo posiciona a 45° respecto a la horizontal, que es un ángulo adecuado para esta región del país.



Figura 4: colector solar “manifold” del tipo tubos evacuados sistema water-in-glass

Los tubos se inervan en la parte superior a un cabezal de sección cuadrada, donde quedan sellados por la acción de dos O-rings internos de silicona. En la figura 5, se muestra el esquema de inserción del tubo en el cabezal colector, con un esbozo aproximado del movimiento del fluido caliente y frío entre

el tubo y el cabezal colector (Budihardjo et al., 2007). La impulsión en el cabezal de sección cuadrada ocurre debido a un levantamiento del colector del lado caliente de 5 cm, de modo de garantizar que la circulación termosifónica se inicie en ese sentido. En el interior de los tubos, el movimiento de calentamiento del fluido, es por convección natural.

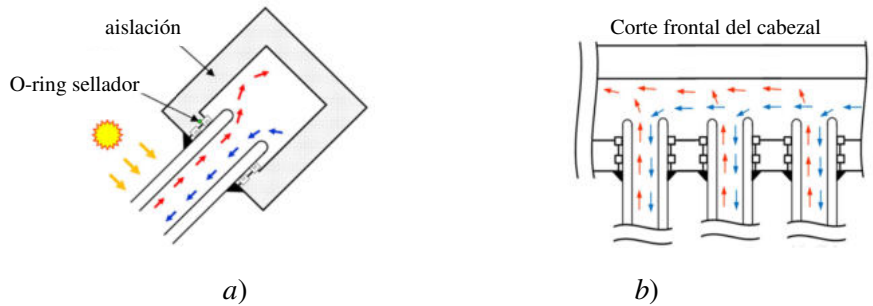


Figura 5: Cabezal colector: a) vista transversal esquematizando circulación en tubo; b) corte frontal con circulación en tubos y pasaje interior del cabezal colector.

Este colector, es capaz de asegurar un buen desempeño en días de invierno, nubosos e incluso con lluvia, debido a su construcción basada en tubos cilíndricos, esto es, captan la radiación solar desde la salida del sol hasta su ocaso, incluyendo la radiación difusa. Cada tubo es una unidad sellada, requiere poca manutención, y si es necesario se reemplaza a bajo costo. Por la separación existente entre tubos, el viento circula libremente entre ellos haciendo estos colectores más resistentes a los vendavales, sin anclajes reforzados. Acumulan menos polvo y suciedad y presentan mejor autolimpieza.

Calentamiento del aire

El aire se calienta en su paso a través del intercambiador de calor agua-aire en flujo cruzado, cuyo desempeño y eficiencia fue evaluada en un trabajo anterior (Garnica et al., 2016). El movimiento a lo largo del equipo se realiza mediante un electroventilador de uso automotriz genérico estándar de 12 pulgadas de diámetro que funciona con 12 V de corriente continua, y en las condiciones de operación tiene un consumo aproximado de 80 W. La regulación del caudal de aire, se realiza modificando el área de entrada de aire.

MONTAJE DEL EQUIPO DE SECADO

El montaje del equipo de secado completo, se muestra en la figura 6.

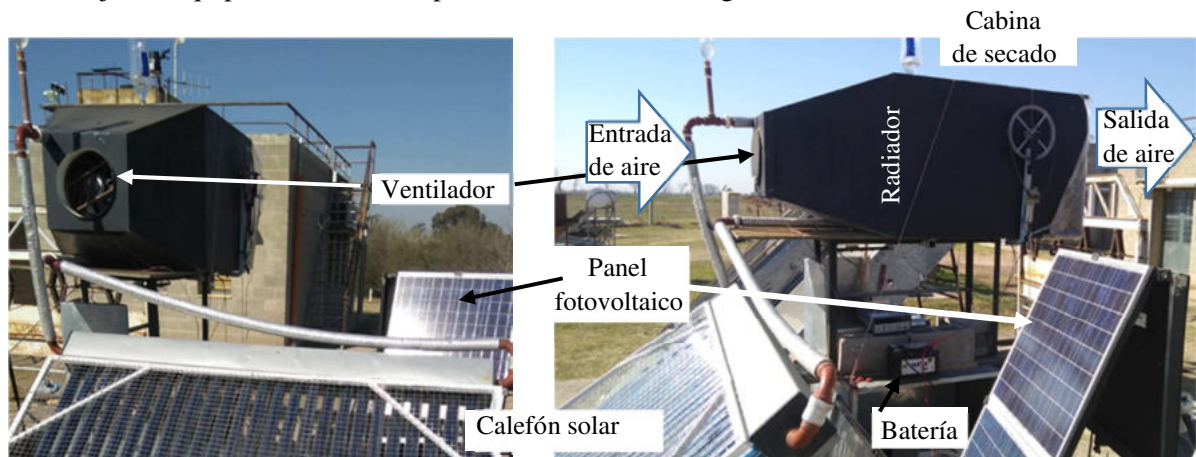


Figura 6: Montaje del equipo de secado funcionando enteramente con energía solar

Al sistema indirecto de calefacción solar térmica de aire descrito en la sección anterior, se le suma un panel fotovoltaico, que alimenta eléctricamente al equipo y un monovolumen compuesto por tres partes, la sección cónica de ingreso del aire de secado, una delgada porción donde se encuentra el radiador y la cabina de secado, en la cual se disponen cuatro bandejas giratorias, donde se coloca el producto a secar.

Como el equipo de secado operaría a la intemperie, la tubería del circuito cerrado del agua se aisló térmicamente y la cámara de secado se recubrió con pintura negra para favorecer su calentamiento. Se automatizó también la rotación de las bandejas giratorias (figura 7 a), que anteriormente se realizaba en forma manual, para lo cual se utilizó una polea, una correa y un motor de 12 voltios (figura 7 b), de uso habitual en el levantamiento de cristales en automóviles. La energía eléctrica requerida para el accionamiento del ventilador y del motor que mueve las bandejas, se obtiene de un panel fotovoltaico.

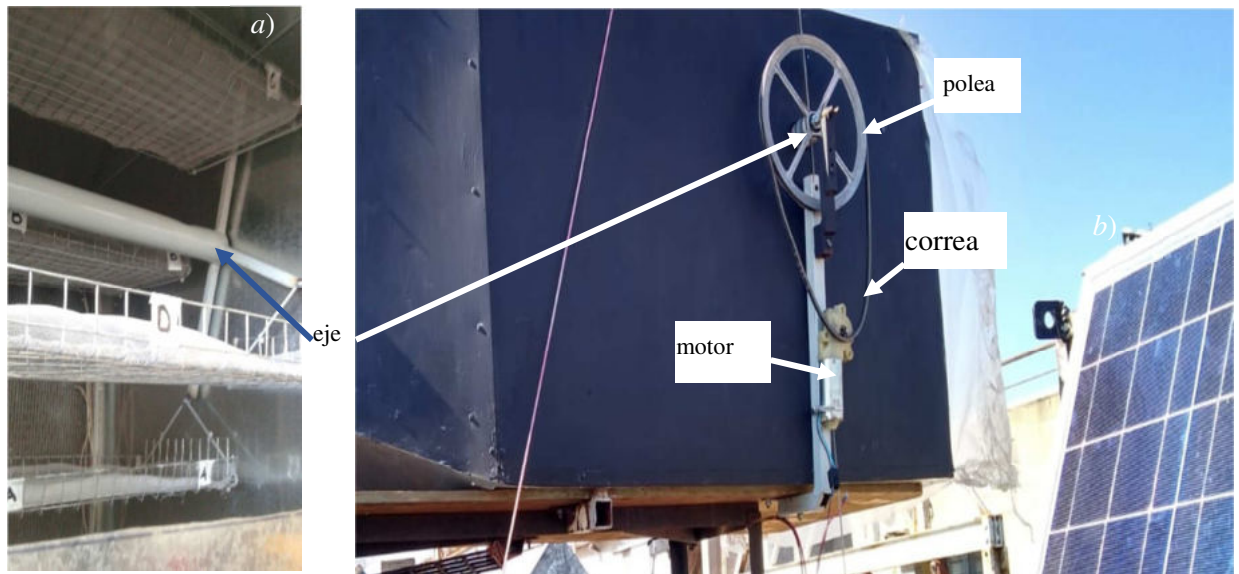


Figura 7: a) Bandejas rotatorias b) Mecanismo que mueve las bandejas rotatorias

VALORACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA INDIRECTO DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICA DE AIRE Y DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE SECADO

Para la evaluación del desempeño del equipo de secado, se realizó una experiencia de secado de perejil, a partir de la cual se determinó la curva de secado y se registraron variables de operación, que pudieran dar cuenta de la presencia del flujo termosifónico en la circulación del agua.

La experimentación consistió en realizar una operación de secado durante de 36 h, utilizando solamente energía solar cuando ésta estuviera disponible. Se registraron temperaturas del agua a la entrada y salida del radiador, del aire caliente en distintos puntos a la salida del radiador y en tres puntos diferentes antes de abandonar la cámara de secado, también se registraron valores de temperatura ambiente y radiación solar sobre el plano del colector. Los registros se tomaron en intervalos de 1 minuto mediante el uso de termocuplas tipo T, un solarímetro y un adquirente de datos marca Agilent. Los valores de humedad relativa del aire ambiente y temperatura en el exterior y en la cámara de secado se tomaron en forma continua con dos registradores HOBO UX 100-011, colocándose uno de ellos en el exterior del equipo y el otro dentro de la cámara de secado cerca de la salida del aire.

Se dispuso secar aproximadamente 1,4 kg de perejil recientemente cosechado, desprovisto mayormente de los tallos. Fue recolectado al final de la tarde del día anterior al ensayo, y se dejó orear 18 horas, de este modo se partió con una humedad inicial del 85%. El material se distribuyó equitativamente en las cuatro bandejas. El seguimiento del proceso de secado se realizó a partir de muestras testigos, para las cuales se registró la pérdida de humedad en intervalos de tiempo conocidos y determinando materia seca para cada una de ellas, por secado en estufa 104 °C, durante 24 horas. Al iniciar el ensayo, se cargan las cuatro bandejas con perejil, y los recipientes de muestras testigo, tres muestras por bandejas, tal como se muestra en la Figura 8, a los fines de valorar la homogeneidad del secado.

Luego, se le da energía al motor de las bandejas giratorias y al ventilador. La entrada de aire se regula cubriendo parcialmente el área de ingreso de aire al ventilador, aun así, es el caudal de aire, es muy sensible a los vientos presentes durante el ensayo. La velocidad del aire en el secadero fue variable entre 2 y 4 m/s.

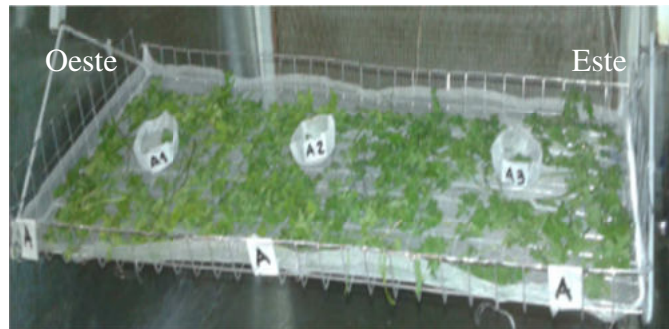


Figura 8. Distribución en las muestras en las bandejas y su orientación respecto del sol.

La toma de datos se realizó en 2 días consecutivos, comenzó a las 9:00 h del 14 de agosto de 2018, y se dio por finalizado a las 21:00 h del día siguiente. En esta época del año, a partir de las 18 h, la radiación sobre plano inclinado decae abruptamente, por lo tanto, a las 18:30 h, de ambos días, se detuvo el flujo de aire y se cerró la cabina de secado. A las 9:00 horas del segundo día, se descubre la cabina y se retoma la operación. A las 18:30 h, se concluye la toma de datos y se cierra la cabina. Sin embargo, las bandejas se retiraron del equipo de secado a las 12:00 h, del tercer día aunque el equipo permanecía cerrado y sin circulación de aire. Se registraron los pesos de las muestras testigo y se colocaron en la estufa.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los datos recogidos durante el ensayo, se volcaron en gráficos, los cuales se describen a continuación.

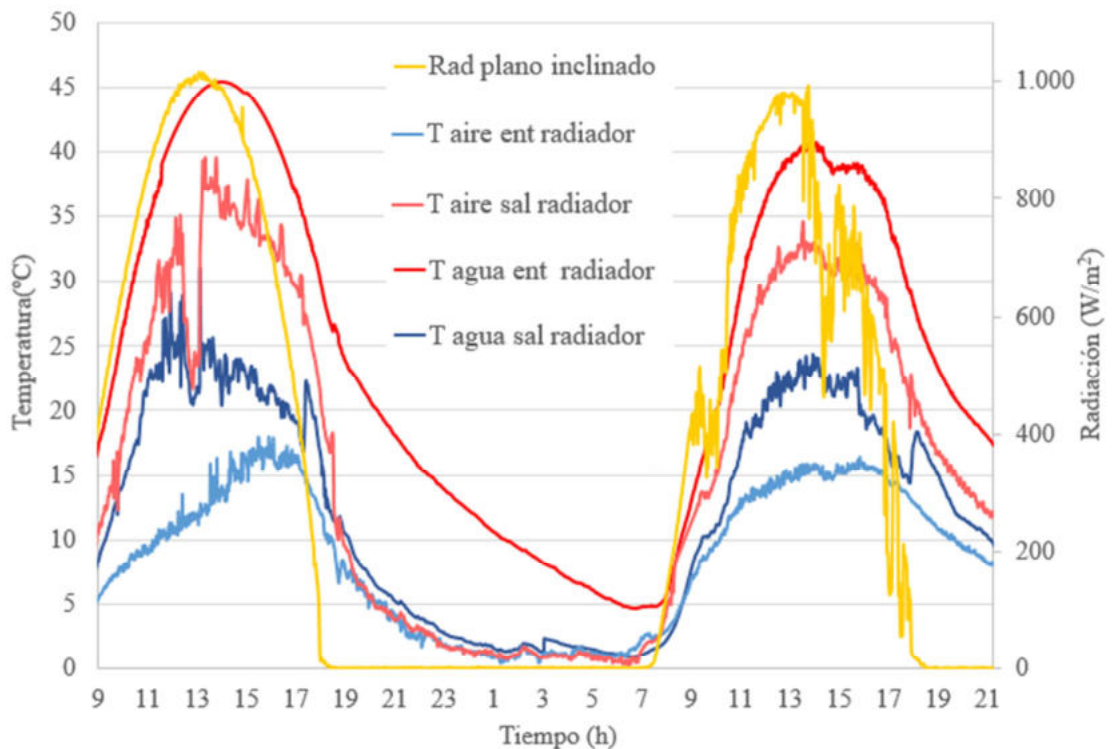


Figura 9. Radiación sobre el plano del colector y temperaturas en el radiador.

En la figura 9, se muestran registros de temperaturas del agua y aire, a la entrada y salida del radiador, siendo el valor de la temperatura del aire a la salida del radiador un promedio de los registros tomados en diferentes puntos a la salida del radiador (figura 11). También se muestra la radiación medida sobre el plano de la superficie del colector.

Puede observarse también en la figura 9, que el aire en su paso por el radiador, consigue un aumento máximo de su temperatura cercano a los 27°C durante el primer día, mientras que el segundo día el salto térmico no supera los 19°C.

En la figura 10, se muestran los registros de temperaturas y humedades relativas del aire medidas en la cabina de secado por los registradores HOBOS. Los valores de velocidad de viento, se tomaron de la página del servicio meteorológico nacional (<https://www.smn.gob.ar/pron%C3%B3stico-extendido/?loc=7007>).

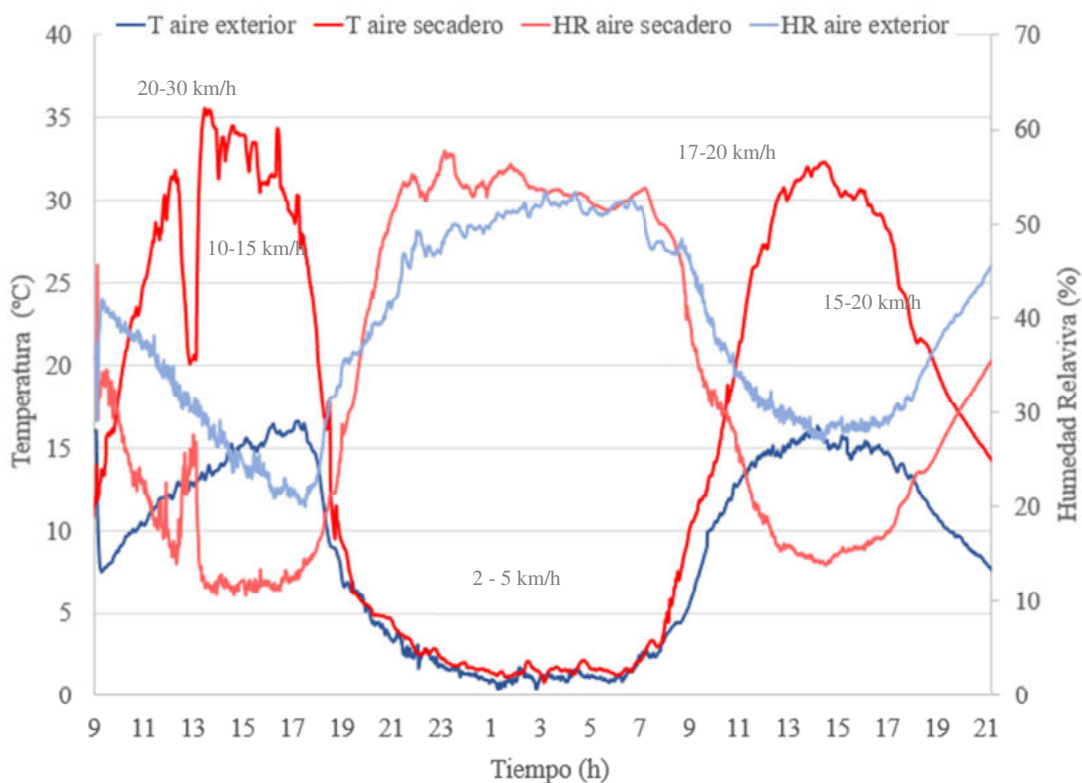


Figura 10 Humedades relativas y temperaturas en la cabina de secado y en el exterior. Valores de velocidad de viento

Es posible notar en la figura 10 que el aire que abandona el secadero está muy lejos de la saturación, mostrando que hay energía disponible que no está siendo aprovechada para el secado.

Se observa también, que la incidencia de las ráfagas de viento en las temperaturas medidas en el aire es significativa, manifestándose en las variaciones bruscas de los registros de temperatura del aire y del agua a la salida del radiador.

La figura 11, muestra las temperaturas del aire, en nueve puntos cercanos a la superficie del radiador luego de atravesar el mismo en flujo cruzado, poniendo de manifiesto que la zona en la cual la temperatura del aire es mayor, corresponde a las cercanías de la entrada de agua caliente en el radiador y no se reconocen patrones que indiquen un mayor calentamiento del aire en la zona este por la mañana y oeste por la tarde.

Es posible notar que, durante la noche, las temperaturas en los distintos puntos prácticamente se igualan, poniendo de manifiesto que no hay transferencia de calor entre el agua y el aire, debido a que no hay circulación de agua en el radiador.

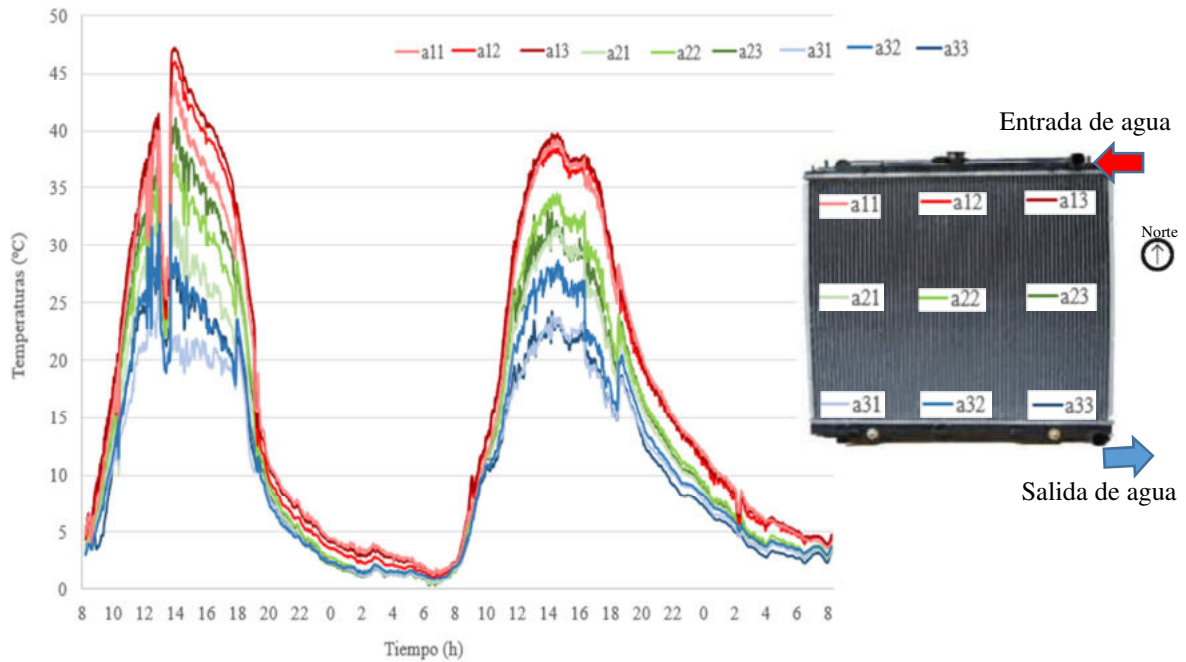
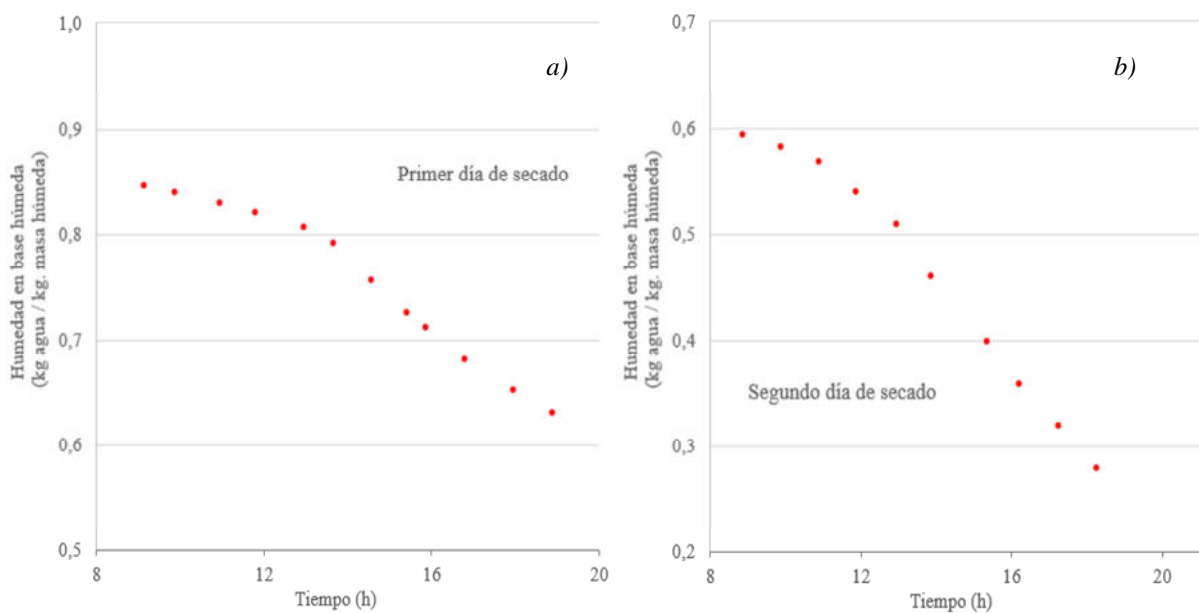


Figura 11. Temperaturas del aire a la salida del radiador en nueve puntos y distribución de los registros de temperaturas en el radiador

A continuación, se muestra las curvas de secado para el perejil en las condiciones de operación. Las figuras 12 a) y b), presentan valores promedio de humedad en base húmeda de las muestras testigo, para el primer y segundo día de la experiencia respectivamente y correspondientes a las horas de sol. Muestran la curva de secado obtenida, advirtiéndose que no tiene un periodo de velocidad constante, y que la velocidad de secado es mayor el segundo día en relación al primero.

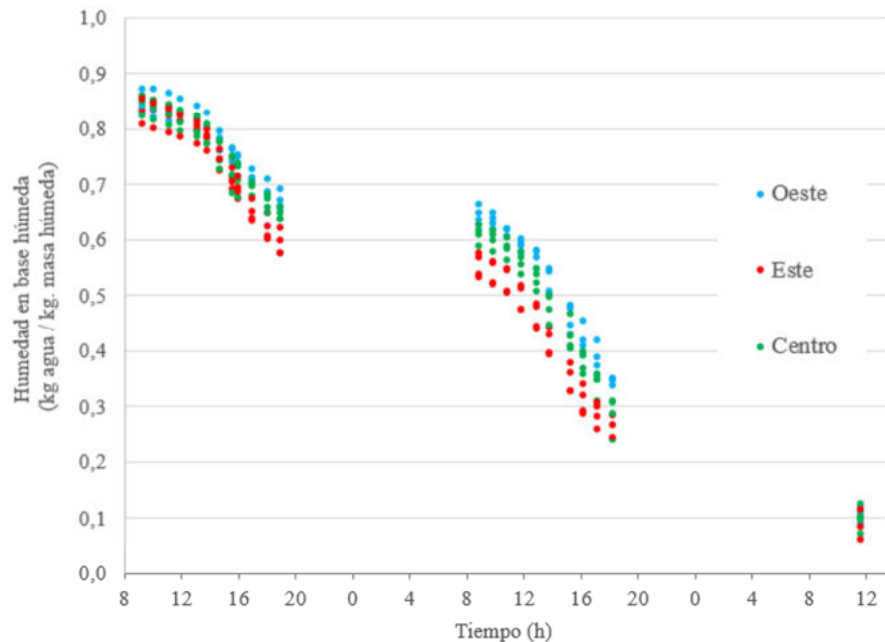


Figuras 12. a) y b) Curvas de secado para el perejil para el primer y segundo día respectivamente

Se observa también que a las 18:30 h del segundo día, cuando se cierra nuevamente el secadero, la humedad alcanzada no es suficiente para un almacenamiento seguro, requiriéndose mayor tiempo de operación. Sin embargo, a las 12 h del tercer día, las muestras son retiradas definitivamente del

secadero conjuntamente con las bandejas, y el valor de humedad promedio final en las muestras es cercano al 10% (9.98% BH).

En la figura 13 se presentan los datos de humedad en base húmeda para las doce muestras de perejil, (tres muestras por bandejas y cuatro bandejas), en función del tiempo de permanencia en el secadero e identificando su posición en las bandejas en relación al norte (figura 8). Durante la noche las bandejas conjuntamente con las muestras quedaron dentro de la cabina de secado, sin circulación de aire.



Figuras 13. Evolución de la humedad en las muestras según su orientación en las bandejas

Los resultados mostrados en la figura 11, están en consonancia con los mostrados en la figura 13, donde es posible observar que la velocidad de secado es mayor para las muestras ubicadas en el sector este de las bandejas, es decir aquellas muestras que al girar la bandeja toman contacto con el aire más caliente.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos a partir de la experimentación y de la operación del equipo de secado en general, es posible obtener conclusiones, las cuales se detallan a continuación.

A los fines de aumentar el aprovechamiento térmico del aire, debido a que el aire se mantiene en todo momento alejado de la saturación (figura 10), es necesario disminuir el flujo de aire al operar el secadero y/o recircular parcialmente el aire a la salida.

Los registros de temperaturas que se muestran en las figuras 9 y 10, muestran el intercambio térmico entre el agua y el aire que ocurre en el radiador, confirmando la circulación del agua y por lo tanto la presencia de un flujo termosifónico. Sin embargo, de la observación de la figura 11 se concluye, que durante la noche cesa el flujo termosifónico, ya que no ocurre intercambio térmico entre el agua y el aire.

Se comprueba que la tecnología desarrollada es apropiada para calentamiento indirecto del aire y que puede ser aplicada a climatización de ambientes en general.

Por último, se constata que el equipo de secado propuesto constituye un diseño idóneo en relación a la operación de secado aplicado a hierbas aromáticas y medicinales y que su funcionamiento depende solamente del recurso solar disponible.

REFERENCIAS

- Bandoni, A. (2000) Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica. Ed. UNLP. 410 pp.
- Banchero, L., Carballo, S., Telesca, J. (2008) Manual de Secado Solar de especies medicinales y aromáticas para predios familiares. INIA - DIGEGRA – MGAP. ISBN: 978-9974-563-49-0
- Barral, J., Lucchini, J. y Garnica, J. (2017) Cálculo de sistemas de calentamiento de agua activos que utilizan colectores de tubos evacuados del tipo water-in-glass. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, pp. 03.69-03.80, 2017.
- Budihardjo I., Morrison G., Behnia, M. (2007) Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors. Solar Energy, Vol. 81, pág. 1460–1472
- Corvalán, R., Horn, M., Román R. y Saravia L. (2000) Ingeniería del Secado Solar, Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía. CYTED-D.
- Garnica J., Lema A., Morsetto J., Pontin M. y Lucchini, M. (2016) Evaluación de un Sistema de calentamiento de aire apto para Secado Solar indirecto de Perejil. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 20, pág. 02.01-02.11
- Lema A., Morsetto J., Pontin M. y Medina M. (2017) Secadero solar indirecto para el secado de hierbas. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, pp. 02.35-02.46.
- Lucchini J., Barral J. y Galimberti P. (2007). Estudio de un caudalímetro calorimétrico para mediciones en sistemas Solares termosifónicos de calentamiento de agua. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, pag. 08.175 – 08.182.
- Morrison G. L. y D. B. J. Ranatunga (1980) Thermosyphon Circulation in Solar Collectors. Solar Energy, Vol. 24, pp. 191-198.
- Paunero, Ignacio. (2017) Situación actual del cultivo de plantas aromáticas y medicinales en Argentina <https://inta.gob.ar/sites/default/files/intasp-situacion-aromaticas-paunero-2017.pdf>
- Ringuelet J., Barreyro R., Cerimele E., Henning C., Ré M., Mari S., Morales N. y Agrícola S. (2000). Producción de aceites esenciales y hierbas aromáticas deshidratadas como alternativa agroindustrial. Congreso “La Inserción de la Universidad en el Medio Rural”. La Plata. Resúmenes: 1.

ABSTRACT:

The objective of this work was to develop an indirect drying equipment fully supported by solar energy. The air heating system for drying uses a solar collector of evacuated tubes to increase the thermal energy of the water, which is then partially transferred to the air in a water-air heat exchanger. The water flows through the thermosiphon effect in a closed circuit between the solar collector and the heat exchanger, while the air enters the equipment through a fan and passes through the heat exchanger before entering the drying chamber. The electrical requirements of the system are provided by a photovoltaic panel. The developed equipment was tested and the results are presented in graphs. The results show that it is possible to develop a system to obtain an adequate drying, balancing quality of the product and spent time, by using only solar energy

Keywords: indirect drying; aromatic herbs; air heating, thermosyphonic flow.