



SECADERO SOLAR FORZADO PARA PRODUCTOS AGRICOLAS[#]

V. García, A. Iriarte¹, S. Justinovich², L. Angel³, T. Heredia³
Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca
M. Quiroga N° 93, 4700 – Catamarca, Argentina. victorgarcia958@gmail.com

Recibido 07/09/15, aceptado 11/10/15

RESUMEN: Se propone un secadero solar forzado, formado por un colector solar y una cámara de secado donde se coloca el producto. El colector construido tiene una cobertura de policarbonato de 7.5 m². Las paredes de la cámara construida con placas de cemento autoclavadas, tiene una cubierta de policarbonato y una puerta de ingreso en la parte posterior. En el interior se colocan bandejas apiladas donde se coloca el producto. El aire de secado fluye a través del producto por circulación forzada impulsado por medio de dos ventiladores de 0,45 kW, colocados debajo de las bandejas. Para el primer ensayo se eligió papa cortada en bastones. El contenido de humedad de las papas se redujo al 20 % durante 2 días de secado. Se analizan los resultados experimentales durante el tiempo de secado.

Palabras Clave: Secadero solar, Colector solar, Cámara de secado, Productos agrícolas,

INTRODUCCIÓN

El productor agrícola está constantemente confrontado con el desafío de mejorar la calidad y cantidad del producto. De hecho, esto no puede hacerse sin la inversión en métodos y herramientas que conducen al aumento de los costos, de consumo de energía, y producción.

El almacenamiento y la conservación es una de las principales etapas en el proceso de producción. Sin embargo, durante esta operación el deterioro del producto es considerable.

El secado, es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos y representa un aspecto muy importante de la elaboración de alimentos. Existe en la actualidad, numerosa bibliografía especializada en relación al proceso de deshidratado de productos agrícolas con fines de conservación, limitantes y problemas asociados.

El secado al sol, en el suelo o canchones, es el método tradicional más común utilizado para preservar los productos agrícolas en las regiones productivas de la Provincia de Catamarca. Con este tipo de secado, se puede obtener ahorros considerables ya que la fuente de energía es libre y renovable.

Sin embargo, esta técnica es extremadamente dependiente del tiempo, con problemas de contaminación con polvo, tierra, partículas de arena y ataque microbiano, con pérdidas de producto de alrededor del 50%. Además, el tiempo de secado requerido para un producto dado puede ser muy largo (más de un mes para el secado de uvas para pasas, por ejemplo).

Además, la ganancia obtenida de los productos deshidratados no es la anhelada, debido a que la deshidratación, la calidad y la conservación es deficiente siendo difícil la obtención de precios aceptables en la comercialización. La mejora en la tecnología de secado podría resolver una parte

[#] Parcialmente financiado por UNCa, INTA

¹ Investigador del CONICET

² Técnico de INTA

³ Becarias F.C.A. - UNCa

importante estos problemas, más aun si se emplea tecnología solar de bajo costo, lo que permitiría obtener mayor rentabilidad y mejorar la calidad.

Con el objeto de optimizar la calidad del producto final y reducir el tiempo de secado se propusieron otros sistemas mejorados, con la colocación de cubiertas y elevados del piso constituyendo los conocidos tendaleros, que fueron incorporándose paulatinamente para evitar el brusco cambio de costumbre de los agricultores, (Carabajal, 2002, Iriarte A., et al. 2012, Iriarte A., et al. 2013)

Bala y Woods (1989), Jairay et al (2009), Iriarte et al (2010), propusieron distintos secaderos solares pasivos construidos a nivel local sin el empleo de energía eléctrica. Estos modelos si bien cumplen con el objetivo para el secado de productos agrícola, dependen de las condiciones climáticas, por cuanto requieren de ella para utilizar un flujo adecuado de temperatura según el día este nublado o despejado. Estas situaciones hacen que el sistema se comporte de manera fluctuante lo que condiciona los días y calidad de secado, (Bala y Woods 1994, Duran y Condori 2009, Iriarte et al 2011).

Hoy en día, los avances científicos y tecnológicos facilitan el secado en cantidades industriales o semi-industriales en poco tiempo, con buenas características organolépticas (olor, sabor, textura y color) y calidad nutricional. Tiris C., Tiris M., y Dincer I (1996), han realizado una comparación experimental de un secador solar a pequeña escala y un secador artificial. Para este último, el aire se calienta con un colector solar y a continuación un calentador eléctrico. Se encontró que el secado artificial es más exitoso que el secado al sol natural, reduciendo el tiempo de secado de manera significativa, siendo el producto final de mejor calidad. Otros investigadores (Karathanos y Belessiotis 1997), utilizaron para el secado un quemador que funciona con gas propano. Si bien la comparación entre el secado solar y el artificial demuestran la reducción considerable en el tiempo de secado en favor del último, presenta la desventaja de la importante cantidad de energía requerida.

Con el objetivo de tener un sistema que nos permita realizar experiencias de secado con diferentes productos bajo distintas condiciones, se propone utilizar una cámara conectada a un colector solar que calienta el aire ambiente del interior del recinto. Cuando las condiciones climáticas son desfavorables o cuando el sol desaparece, se puede utilizar un calentador que funciona con leña o desechos agrícolas. De esta manera, el sistema se puede utilizar durante todo el año, sin necesidad de tener un sistema de almacenamiento, teniendo así, un medio de secado práctico para evaluar el deshidratado de diferentes productos y además, de bajo costo para el productor.

El propósito del presente trabajo fue estudiar el comportamiento del sistema con circulación forzada, en este caso sin el calentamiento auxiliar, durante el secado de papas cortadas en bastones. Se describe su construcción y materiales utilizados y los resultados experimentales. Se muestran la temperatura, la humedad relativa interior y exterior y la radiación exterior, las curvas de secado en función del tiempo.

MATERIALES Y METODO

Descripción del secadero solar

En la Figura 1 se muestra un esquema del prototipo propuesto que consiste en: a) Un colector solar, y b) una cámara de secado. El mismo ha sido diseñado, construido y ensayado en el predio de la Estación Experimental de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicado en Sumalao, Valle Viejo Catamarca, (latitud -28,48, longitud -65,63).

El colector utilizado es una estructura de 7,5 m² (2,5m x 3,00 m) de 0,25 m de alto, sus laterales y base están realizados con placas de cemento autoclavadas utilizadas en arquitectura, denominadas Superboard, de 0,006 m de espesor y una conductividad térmica de 0,6 W/m.K. Las características más importantes de este material son: fácil manipulación y trabajo, resistente a la intemperie y a la humedad, inmunidad a hongos y termitas y su aplicación es sencilla requiriendo herramientas simples y portátiles. En su interior se ha colocado una chapa acanalada pintada de negro para absorber la radiación solar y para almacenar la energía térmica. A fin de reducir la pérdida de calor del colector el mismo se encuentra aislado con fibra de vidrio. El aire del exterior entra por el extremo inferior abierto del colector y se calienta mientras pasa por encima de la chapa.

La cámara de secado de 7 m³, se encuentra elevada 0,80 m del suelo, sus paredes están construidas en su totalidad con Superboard, en el techo inclinado se colocó policarbonato alveolar transparente de 0,006 m de espesor, a través de él, el producto recibe radiación solar. El piso es madera de 0,025 m de espesor. En la pared sur, se encuentra la puerta de ingreso de 1,70 m x 0,60 m y una chimenea en la parte superior de 0,10 m x 2,90 m para evacuar el aire húmedo.

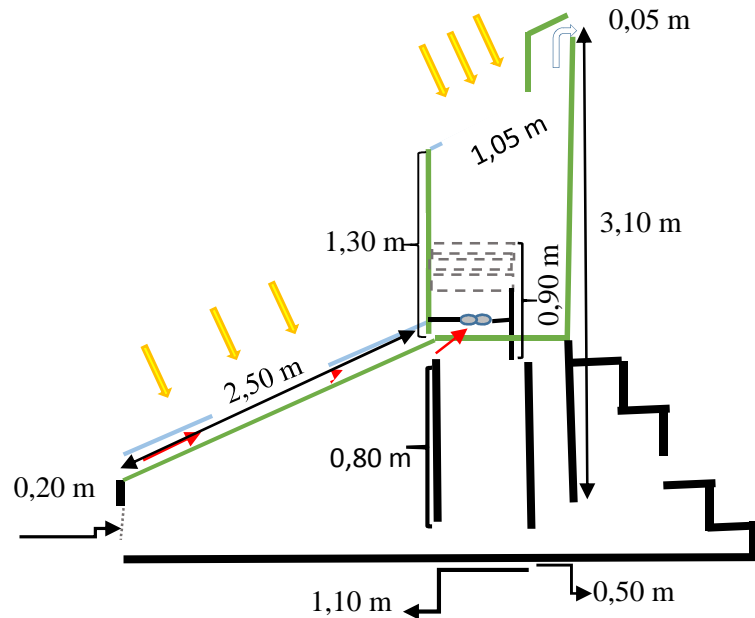


Figura 1: Corte del sistema colector – Cámara de secado

En el interior de la cámara, se construyeron dos estructuras de madera de 0,60 m de alto para colocar bandejas de 1 m² x 0,10 m de alto, construidas de red alambres con marcos de hierro, insertadas una sobre otra. En cada estructura se colocan tres bandejas. El aire caliente que proviene del colector es impulsado a través del producto, por dos ventiladores tipo extractores de 0,45 kW colocados debajo de cada columna de bandejas. La carga y descarga de los productos se realiza en el interior del recinto.

Cuando las condiciones ambientales no son favorables o se requiera aumentar las horas de secado, se utilizará un sistema de calentamiento auxiliar. Este equipo, está constituido por dos cilindros concéntricos, separados por 0,15 m entre cada uno. El cilindro exterior tiene 1,35 m de alto y 0,60 m de ancho, construido en chapa de acero, del tipo de los tanques de aceite, el cilindro interior es más chico de 1,20 m de largo y 0,45 m. Ambos determinan dos cámaras, una de almacenamiento y otra de combustión. La cámara de almacenamiento cumple la función de intercambio de calor, Figura 2.

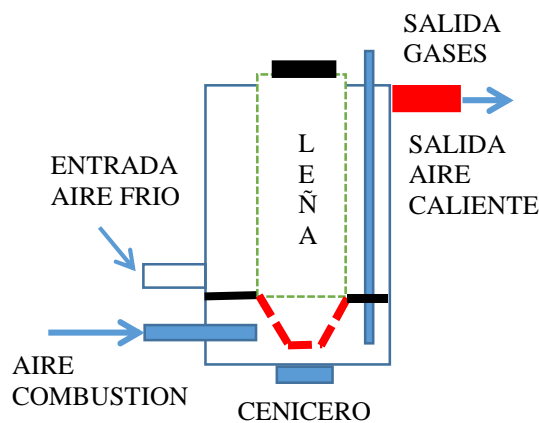


Figura 2: Esquema del calentador auxiliar

El cilindro exterior tiene una abertura de 0,15 x 0,15 m en la parte superior, con una tapa de cierre hermético, mientras que en la parte inferior lleva un sistema para la descarga de cenizas, cenicero. La cámara de combustión evacua los gases a través de una chimenea de 0,10 m de diámetro y que recorre el espacio entre ambos cilindros.

Los gases producidos en esta zona pasan a la cámara de intercambio y son expulsados al exterior por la chimenea. El aire a calentar ingresa a temperatura ambiente, a la zona interna de la doble pared, por un conducto ubicado en el lado lateral derecho de la cámara de almacenamiento. Circula entre los dos cilindros y a través del exterior de la chimenea hasta llegar a la parte superior de este recinto, para finalmente salir por una abertura ubicado en la parte lateral opuesta a la entrada. Para forzar la circulación del aire se produce la aspiración mediante un ventilador de 100 Watt colocado en el conducto de salida.

En la figura 3, se muestra el sistema de secado con el calentador auxiliar



Figura 3: Cámara de secado con colector solar, y sistema auxiliar.

Sistema de medición

Las mediciones de temperatura y humedad se realizaron con Data Logger tipo HOBOS U12 individuales que permiten medir temperaturas en el rango de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, resolución de $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa del aire entre 10 - 90 % (precisión de $\pm 1\%$, resolución de $0,1\%$). Estos sensores se ubicaron protegidos de la radiación solar directa, a la salida del aire del colector, a la altura de bandeja, y en la salida del aire de la chimenea. Los registros fueron cada 15 minutos durante el proceso de secado.

La radiación solar se midió con un piranómetro horizontal Kipp&Zonen ($\pm 5\%$). Las variables meteorológicas se determinaron con la estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia.

La velocidad del aire en el interior de la cámara, se midió con un anemómetro de hilo caliente, marca TSI 1650 ($\pm 0,05\text{ m s}^{-1}$), en diferentes puntos en dirección transversal a lo largo del colector y secadero.

Las muestras testigos se pesaron con una balanza electrónica (Mettler $\pm 0,1\text{ g}$). El producto fue pesado al inicio y final de la experiencia con una balanza de plato ($\pm 1\text{ g}$).

Cinética de secado

Se cargó 36 kg de papa cortadas en bastones tratadas con meta bisulfito de sodio, a fines del mes de abril. Se colocó el producto cubriendo toda la superficie de las bandejas en una sola capa. El seguimiento del secado se realizó a través de los parámetros de secado en 2 muestras de

aproximadamente 50 gr cada una, ubicadas en la bandeja superior de cada módulo. Se realizaron pesadas horarias durante los días de secado. El peso seco del producto se obtuvo secando una muestra de cada variedad en una estufa con temperatura de 104 °C, hasta obtener peso constante.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los ensayos con la cámara cargada con papa fueron realizados durante los días 28 al 30 de abril del presente año, en la fig. 4, se muestra los datos climáticos temperatura, humedad relativa y la irradiación sobre superficie horizontal. Se observa que fueron días con mucha nubosidad y por consiguiente los valores de radiación fueron muy cambiantes entre los 200 y 800 Watt/m², la temperatura ambiente exterior (Ta,Ext) medida, fue una mínima de 19 °C y una máxima de 30 °C, con humedades de entre de 55 y 93 %.

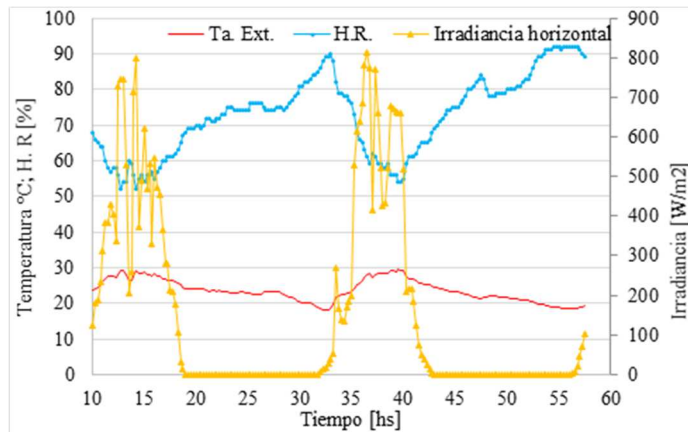


Figura 4. Temperatura, humedad relativa exterior y radiación horizontal en función del tiempo.

Colector y cámara de secado

En la Fig. 5 se muestra la variación de las temperaturas del aire a la entrada (Te.col), salida del colector (Ts.col), zona media de la bandeja superior de productos para secado (Tbandeja).

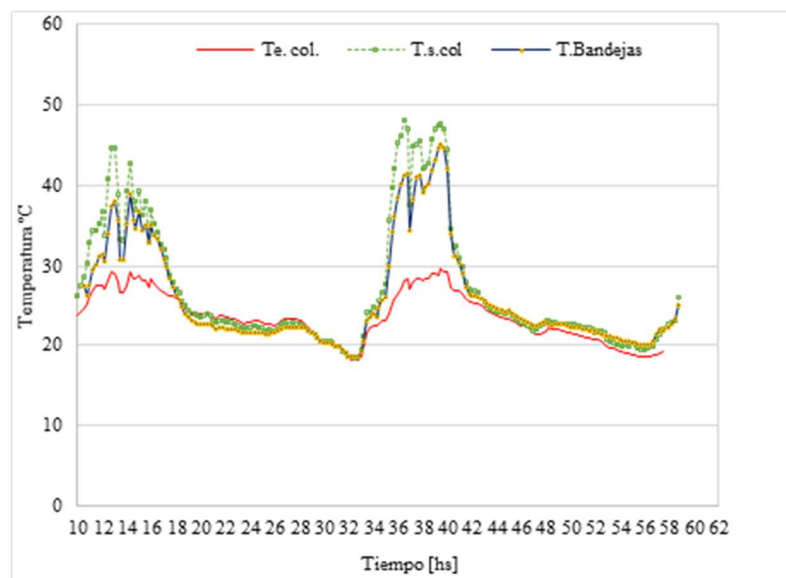


Figura 5. Temperatura entrada y salida del colector y bandejas con productos

La temperatura del aire a la entrada al colector, coincidente con la temperatura del aire ambiente exterior, se mantiene a partir de las 10,30 hs y hasta las 20 hs por encima de 24 °C (Te,col = Ta,Ext) y obtiene su valor máximo de aproximadamente 30 °C, entre las 12 y 16 hs. Entre las 12 y 16 hs la

temperatura del aire a la salida del colector es mayor a 35 °C, con un máximo a las 13 hs de 45 °C para el primer día y de 48 °C a las 16 hs para el segundo día. Los valores promedio de temperatura en esos intervalos fueron de 37 y 44 ° C respectivamente. Por otro lado, la temperatura del aire en la bandeja superior con producto, para el mismo intervalo, fue de mayor que 35 °C, con un valor máximo de 45 °C a las 15 hs y con un valor promedio de 40 °C.

En la Fig. 6, se muestran las variaciones de la humedad relativa del aire a la entrada y salida del colector, y la humedad relativa a la salida de la zona de secado en la bandeja superior. La humedad del aire a la entrada del colector que coincide con la exterior durante las horas de secado, estuvo comprendida con máximas de 92 % y 52 % como valor mínimo. El promedio durante el periodo comprendido entre las 12 hs y 20 hs fue de 60 %. La humedad mínima del aire a la salida del colector fue 22 %, para el último día de secado, mientras que a la salida del sector de secado fue de 27 %.

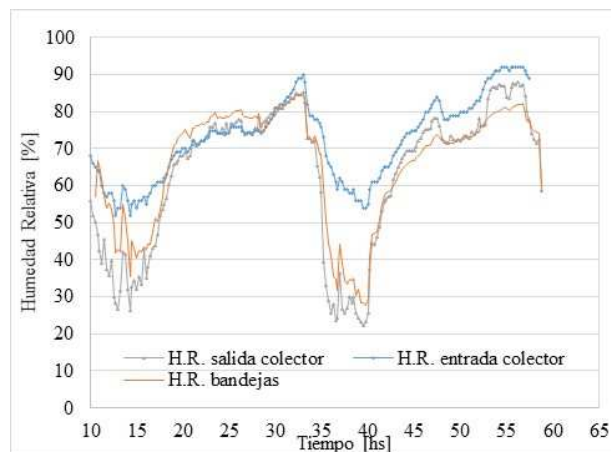


Figura 6. Humedad Relativa en la entrada y salida del colector y bandejas con productos

En la Fig. 7 se grafica el contenido de humedad (Mh), expresado en kg kg^{-1} referido a base seca (bs), en función del tiempo para la muestra seleccionada cuatro muestras seleccionadas. El contenido de humedad inicial de las muestras de papa M1 fue de $3,34 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs) y M2 de $3,19 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs). Después de 18 horas de secado efectivo, sin contar el periodo nocturno, las muestras llegan a un contenido de humedad: M1 a $0,18 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs), M2 a $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs), lo que significa pérdidas de 68,5 %, 89,9 %, 80 % y 78% respectivamente.

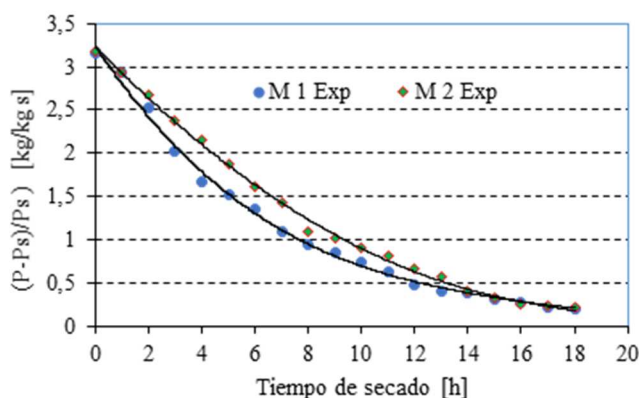


Figura 7. Contenido de humedad de las 2 muestras de papa

La relación entre el contenido y el tiempo para cada muestra, ajustada por mínimos cuadrados, es:

$[(P-P_s)/P_s]_1 = -0,0005 t^3 + 0,0256 t^2 - 0,4567 t + 3,2415$	$R^2 = 0,9961$	[1]
$[(P-P_s)/P_s]_2 = -2E-06 t^3 + 0,0082 t^2 - 0,316 t + 3,2356$	$R^2 = 0,9974$	[2]

Tabla 1: Relación entre contenido de humedad y el tiempo de secado

También se determinó la relación que existe entre la velocidad de secado y el contenido de humedad del producto durante el secado. En las figuras 8 y 9 se muestran la velocidad de secado de las muestras en función del contenido de humedad y del tiempo respectivamente de la experiencia realizada en la cámara. En ellas se observan el comportamiento del contenido de humedad, y la reducción logarítmica con la disminución del contenido de humedad

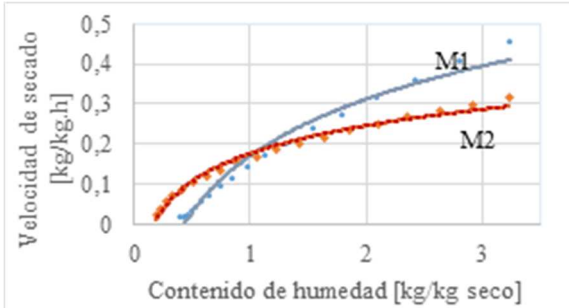


Figura 8. Velocidad de secado en función del contenido de humedad

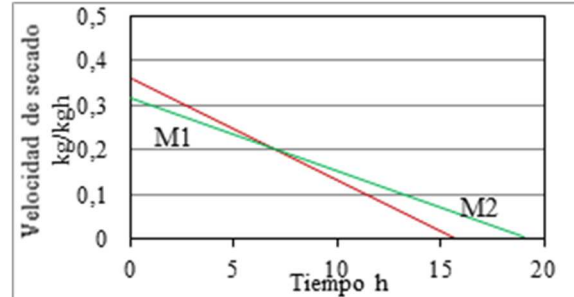


Figura 9. Velocidad de secado en función del tiempo

Las siguientes ecuaciones son el resultado del ajuste de las curvas de velocidad de secado en función del contenido de humedad (Mh) para la papa (Tabla 2), obtenidas al derivar las curvas de secado y ajustarlas por mínimos cuadrados.

$V_{s1} = 0,0727 \ln (Mh_1) + 0,1697$	$R^2 = 0,9806$
$V_{s2} = 0,1001 \ln (Mh_2) + 0,1766$	$R^2 = 0,986$

Tabla N° 2. Ecuaciones de la velocidad de secado en función del contenido de humedad y el tiempo

En Figura 8 y 9, se muestran las bandejas con papas recién cargadas y luego de secadas, respectivamente.



Figura 10. Carga de papa fresca



Figura 11. Bandejas con papa seca

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en estos estudios preliminares han demostrado la viabilidad del uso del colector solar forzado con cámara de secado. Este tipo de secador solar ofrece las ventajas de velocidad de secado más rápido, de fácil construcción, requiere muy poco mantenimiento. También, el producto tiene muy buena protección de las condiciones climáticas tanto de viento y lluvia.

Los niveles de temperatura alcanzados por el colector permiten obtener temperatura de aire en el interior de la cámara óptima para reducir considerablemente el tiempo de secado de diferentes productos.

Como trabajos futuros se prevé el uso del calentador auxiliar adicionado a la cámara para aumentar las horas de secado o cuando las condiciones climáticas sean desfavorable. De esta manera prolongar el sistema de secado por mayor tiempo y también aumentar la diversidad de productos a secar en diferentes estaciones

REFERENCIAS

- Bala B. y Woods J. (1989). Simulation and Optimization of natural convection solar drier. *Journal of Agricultural Engineering*, 27, pp. 419-424.
- Bala B. y Woods, J.L. (1994). Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice. *Solar Energy* 53 (3), pp. 259–266.
- Carabajal D. (2002). Secadero tendalero con cubierta plástica. Folletos de divulgación de INTA Catamarca.
- Duran G. y M. Condori (2009). Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. *Avances en Energías*, pág. 121 – 129. *Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 13.
- Iriarte A., Bistoni S., García V. y Luque V. (2013) .Evaluación de un secadero solar tendalero túnel: estudio de secado de manzanas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 17, pág. 21-28.
- Iriarte A., Bistoni S., Luque V., García V., Rodríguez C. y Brizuela L. (2012). Caracterización del secado de pimiento para pimentón en un tendalero solar activo tipo túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 16, pág. 895-899.
- Iriarte A., Bistoni S., Luque V., Lara M. y Brizuela L. (2010). Secadero tendalero con chimenea solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 14, pág. 2.01- 2.08.
- Iriarte A., Rodríguez C., Bistoni S., Hall M. (2014). Simulación de un secadero solar tendalero túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.18, pág. 825 – 834.
- Iriarte A., S. Bistoni, M. Watkins, V. Luque, H. Sánchez y L. Brizuela. (2011). Análisis de un secadero solar tendalero con torre central en convección natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.15, pág. 225 - 232.
- Jairaj K., Singh S. and Srikant K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying, *Solar Energy* 83, pp. 1698-1712.
- Karathanos, V. T., & Belessiotis, V. G. (1997). Sun and artificial air drying kinetics of some agriculture products. *Journal of Food Engineering*, 31, 35–46.
- Tiris, C., Tiris, M., & Dincer, I. (1996). Experiments on a new smallscale solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 16(2), 183–187

ABSTRACT: The proposal in this study is to build a forced solar dryer, consisting of a solar collector and a drying chamber where the product is placed. The collector has a 7.5 m² polycarbonate cover. The chamber has walls made of cement plates with a polycarbonate cover and a doorway at the back. Stacked trays for the product are placed inside this chamber. The drying air flows through the product by forced circulation driven by two 0.45 kW fans. For the first trial, cut potato sticks placed in these trays were chosen. The moisture content of the potatoes was reduced 20% during the 2 days drying. The experimental results were analyzed during the drying time.

Keywords: Solar dryer, solar collector, Chamber drying agricultural products