

CARACTERIZACIÓN DEL SECADO DE PIMIENTO PARA PIMENTÓN EN UN TENDALERO SOLAR ACTIVO TIPO TÚNEL[#]

A. Iriarte¹, S. Bistoni, V. Luque, V. García, C. Rodríguez y L. Brizuela²
Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca
M. Quiroga N° 93, 4700 – Catamarca, Argentina. iriarteadolfo@gmail.com

Recibido: 13/08/12; Aceptado: 02/10/121

RESUMEN: Las aromáticas son los productos que principalmente se producen en el Dpto. Belén, Provincia de Catamarca, destacándose especialmente el pimiento para pimentón, anís, ajo y comino. También hay producciones de frutas que son destinadas al deshidratado. Estos cultivos son realizados por pequeños productores. La renta derivada de estos productos deshidratados no es la óptima debido a que la conservación es inadecuada. En el presente trabajo se propone un secadero solar mixto construido sobre un tendalero cubierto con un plástico y con convección forzada. Está formado por dos partes: un colector solar y a continuación la cámara de secado. La circulación del aire se realiza mediante dos ventiladores. Se muestra la caracterización del secado del pimiento para pimentón durante los meses de invierno, para muestras sin y con tratamiento (blanqueado y metabisulfito de sodio); se analizan las variaciones de temperaturas y humedades, la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo. Si bien el secado fue adecuado y el producto de buena calidad, la baja radiación y temperatura ambiente, aumentaron el tiempo de secado. Los tratamientos mejoraron el color del producto seco y disminuyeron el tiempo de secado en un 25 % y 12,5 % respectivamente.

Palabras Clave: secadero tendalero, secadero solar activo, tratamientos presecado, pimiento para pimentón

INTRODUCCIÓN

En el Dpto. Belén de la Provincia de Catamarca, el principal sustento de la gente es la agricultura y ganadería extensiva. Las aromáticas son los productos que principalmente se producen, destacándose el pimiento para pimentón, anís, ajo y comino. También hay producciones de frutas tales como duraznos, ciruelas, membrillos y nuez. Gran parte de estas producciones son destinadas al deshidratado.

Los productores no obtienen un rendimiento económico adecuado durante el periodo de cosecha, debido al bajo precio en el mercado por la abundancia del producto. Generalmente, deben vender su producto en fresco a un precio por debajo del costo de producción. Asimismo, la renta derivada de estos productos deshidratados es mínima, debido a que la conservación es inadecuada, con muchas limitaciones en el almacenaje, por lo que la comercialización a precios convenientes se hace difícil.

En estas zonas el secado se realiza normalmente al aire libre, ya sea en el suelo o sobre tendaleros. Si bien es una técnica de secado económica, el producto obtenido es de mala calidad debido a la dependencia de las condiciones climáticas, polvo y a la vulnerabilidad al ataque de insectos, plagas y microorganismos. Por ejemplo, en el caso de secado de pimiento para pimentón, bajo estas condiciones, las pérdidas son muy altas, entre el 30 y 50 %. La velocidad de secado es muy lento y toma entre 15 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas (Carabajal, 2001). Por otro lado, el empleo de tecnología solar permitiría aportar un gran valor agregado a la cadena de producción, permitiendo la conservación de los productos y así obtener mayor rentabilidad y mejorar la calidad.

Investigaciones previas realizadas por Bala y Woods (1989), Jairay *et al.* (2009), Iriarte *et al.* (2010), han demostrado que los secaderos solares naturales o pasivos de bajo costo, pueden ser construidos a nivel local y no requieren energía convencional. Sin embargo tienen algunas limitaciones importantes debido a que el flujo de aire es bajo y fluctuante, por su dependencia directa de la temperatura (Bala y Woods 1994, Duran y Condorí 2009, Iriarte *et al.* 2011). Esto trae un riesgo de deterioro del producto cuando hay cambios de las condiciones climáticas o cuando la humedad relativa exterior es mayor que la necesaria para secar.

Si bien estos secaderos, pueden ser usados en toda la provincia, es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas, épocas del año y producción. Particularmente, los secaderos tendaleros solares pasivos, convección natural, tienen un potencial para su adopción y aplicación en la Puna.

En este sentido, sería muy interesante disponer de otra opción para transformar un tendalero tradicional en uno tendalero solar activo, es decir con circulación forzada. Trim (1982) diseñó y construyó un secadero tipo “carpa” con un ventilador en

[#]Parcialmente financiado por PFI/MinCyT, UNCa, INTA

¹Investigador del CONICET

²INTA

uno de sus lados para forzar el movimiento del aire a través del producto. Philip *et al.* (1993), diseñaron un secador de circulación forzada con un ventilador de 0,75 kW, para “chiles rojos” (carga de 65 kg). En la última década, en los países de asiáticos se ha comenzado a usar un sistema de secado de bajo costo, convección forzada, con pequeños ventiladores alimentados por un módulo fotovoltaico. Se utiliza para el secado comercial de pequeños productores de frutas, verduras, cereales, granos, legumbres, semillas oleaginosas, especias, pescado y carne (Esper y Muhlaur, 1996; Bala 2007).

El propósito del presente trabajo fue estudiar el comportamiento del secador solar tipo tendalero túnel, usando dos ventiladores de bajo consumo. Se describen las componentes de un sistema tendalero túnel solar activo y los resultados experimentales logrados. Se muestran las curvas de secado, la variación de la velocidad de secado en función del contenido de humedad y del tiempo, en muestras con y sin pretratamientos.

MATERIALES Y METODO

Descripción del secadero solar

El secadero consiste en un tendalero de 0,80 m de alto, 1,80 m de ancho y 10 m de largo, dividido en dos partes; una parte es el colector solar y la otra el secador y ambas están en el mismo plano.

El primer sector del colector, por donde entra el aire del exterior, tiene una lámina de plástico negro (1,8 m x 5 m) como placa colectora. El segundo sector (1,8 m x 5 m) inicia donde termina el colector y posee una media sombra al 80 %, sobre la cual se colocan las bandejas. Por debajo de las bandejas, a 0,20 m de la media sombra, se ha instalado un plástico negro para favorecer la absorción de la radiación solar que pasa entre los intersticios del producto cuando éste comienza a secarse. Tanto el colector como el secador tienen a 0,25 m una primera cubierta plana de plástico UV térmico. El aire circula por el canal que queda formado entre esta cubierta y la placa colectora y las bandejas. Todo el sistema tendalero colector y tendalero secadero, tiene una segunda cubierta semicircular de plástico, Fig. N° 1.

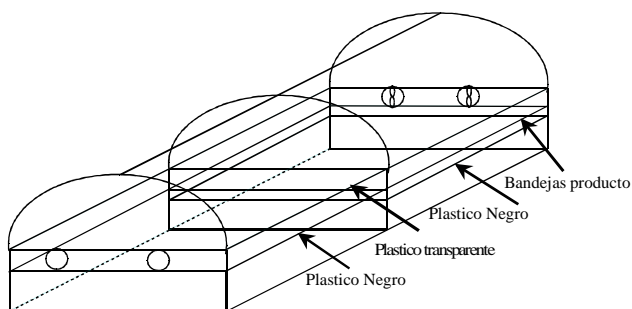


Figura N° 1. Detalles constructivos del secadero tendalero túnel y vista del sistema construido

En el suelo, debajo del tendalero, se colocó un plástico negro para evitar el crecimiento del pasto; sobre el mismo se pusieron piedras pintadas de negro para acumular parte de calor que gana el sistema en la parte inferior. El producto se ubica sobre bandejas de madera y media sombra. La carga y descarga de los productos se realiza por los costados del módulo de secado.

El aire ambiente es forzado a circular a través del sistema mediante dos ventiladores axiales (extractores) de 45 W cada uno, absorbiendo en el sector de secado la humedad del producto. Estos ventiladores están ubicados en la pared oeste, sector secador. La radiación solar que pasa a través de las cubiertas transparentes del secador también aporta calor al producto, contribuyendo al aumento de la velocidad de secado.

Sistema de medición

Para medir la temperatura y humedad se utilizaron Data Logger tipo HOBOS inalámbricos con sensores externos “smart sensor” que permite medir temperatura en el rango de - 40 °C a 75 °C (precisión de $\pm 0,2^\circ\text{C}$, resolución de $0,02^\circ\text{C}$) y humedad relativa del aire entre 10 - 90 % (precisión de $\pm 2,5\%$, resolución de $0,1\%$). Los sensores para medir temperatura son termistores y para la medición de humedad son semiconductores HUM-RHPCB-2. Ambos están en una sola unidad contenidos por una funda de PVC modificado con una membrana de polietersulfona hidrofóbica (PES). También se usaron Data Logger tipo HOBOS U12 con sensores internos y externos; temperatura ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) y humedad ($\pm 1\%$).

Los sensores de temperatura y humedad del aire se ubicaron a lo largo del sistema en la dirección del flujo de aire en tres puntos del colector y en tres del secadero, se registraron 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 se midió con un anemómetro de hilo caliente, marca TSI 1650 ($\pm 0,05\text{ m s}^{-1}$), en diferentes puntos en dirección longitudinalmente y transversalmente.

Las muestras se pesaron con una balanza electrónica (Mettler $\pm 0,1g$) y la pesada inicial y final de todo el producto con una balanza de plato ($\pm 1g$). El peso seco del producto se obtuvo llevando una muestra a estufa a $102^\circ C$ hasta obtener peso constante.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El secadero se cargó con 100 kg de pimiento para pimentón de diferentes variedades, cosechado en la Estación Experimental del INTA, Sumalao, en la última semana de Junio. Para la determinación del contenido de humedad se utilizaron 8 muestras de aproximadamente 25 gr cada una, ubicadas en el secadero y tres al aire libre sobre un tendalero cargado con pimiento. Se realizaron pesadas horarias durante los primeros dos días de secado y luego fueron diarias. A dos muestras de 23 kg de pimiento cada una se le realizaron pretratamientos. A una de ellas blanqueado a $80^\circ C$ durante 3 minutos y a la otra un baño de metabisulfito de sodio al 4 % durante 30 minutos.

Datos del Colector

En la Fig. 2 se muestra la variación de la temperatura del aire a la entrada ($T_{a,eCo}$), puntos intermedios (T1 y T2) y salida del colector ($T_{a,sCo}$), equivalente este último a la entrada del secador ($T_{a,eS}$), para el primer día de secado.

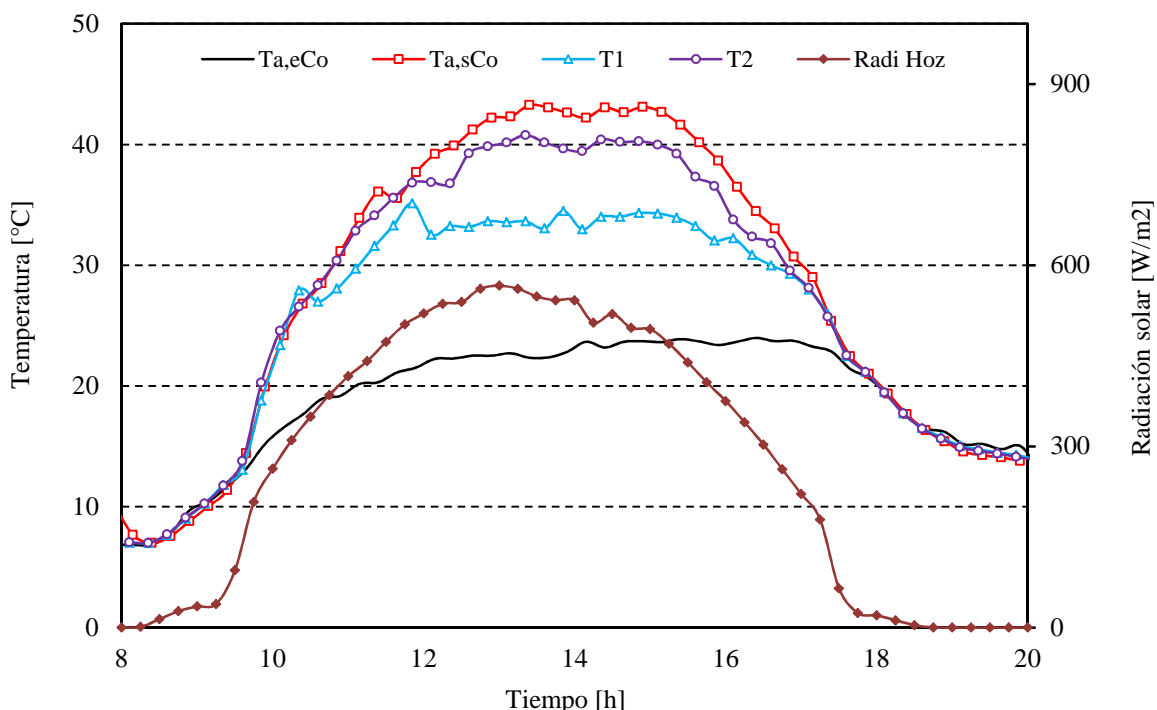


Figura 2. Variación de temperatura en distintos puntos del colector y la radiación incidente en función del tiempo.

La temperatura ambiente registrada por la estación meteorológica coincidió con la temperatura de aire al ingreso del colector. Su valor máximo se mantiene prácticamente constante a partir de las 14 hasta las 18 horas, con un valor aproximado a $24^\circ C$. Los valores máximos para la temperatura de salida del colector se obtuvieron entre las 13 y 15 h, con un valor aproximado de $43,25^\circ C$ y para los puntos intermedios del colector T1 (1,25 m de la entrada) y T2 (3,75 m de la entrada), los valores máximos fueron aproximadamente $34^\circ C$ y $43^\circ C$ respectivamente, en el mismo periodo, Fig. 2. La eficiencia máxima para el primer día de ensayo del colector (energía útil/energía incidente) fue de 41,9 % para un flujo de $0,10 \text{ kg s}^{-1}$ y una diferencia de temperatura del aire de $20,9^\circ C$. La eficiencia promedio del colector para los seis días de secado fue del 37%.

En la Figura 3 se aprecian las variaciones temporales de las temperaturas a la entrada ($T_{a,eS}$) y a la salida ($T_{a,sS}$) del sector de secado y en el medio ($T_{a,mS}$), a 2,5 m de la entrada al secador, para el primer día de secado. También se incluye la radiación solar horizontal.

La variación de temperatura máxima entre la entrada y la salida del secadero, en este primer día, fue aproximadamente de $6^\circ C$, mientras que en el último día fue solamente de $2^\circ C$. Un análisis de las temperaturas a diferentes horas y en los días sucesivos del proceso de secado, permitió determinar que la temperatura en el interior del colector aumentó a lo largo del mismo, mientras que la temperatura del aire en el secador disminuyó a lo largo del sector de secado, durante el primer día. Durante el 2do. día la temperatura sigue disminuyendo y a partir del 3er. día se mantiene aproximadamente constante a lo largo del secadero.

Esto se debe a que al comienzo del proceso de secado, cuando el contenido de humedad es alto, el aire que proviene del colector disminuye su temperatura a lo largo de la longitud del túnel de secado debido al enfriamiento por evaporación en la

superficie del producto. Cuando la cantidad de energía requerida para la evaporación de la humedad superficial del pimiento es menor, la temperatura del aire en el secador aumenta.

Durante la experiencia de secado la temperatura ambiente varió desde 11 a 25 °C, con un promedio durante los días de secado de 20,1 °C, mientras la temperatura del aire a salida del colector entre 24,5 a 50 °C, con un promedio de 40,1 °C. Por otro lado, la temperatura mínima del aire a la salida del secadero fue 21°C, la máxima de 49 °C y la media durante el periodo de secado de 33,5 °C.

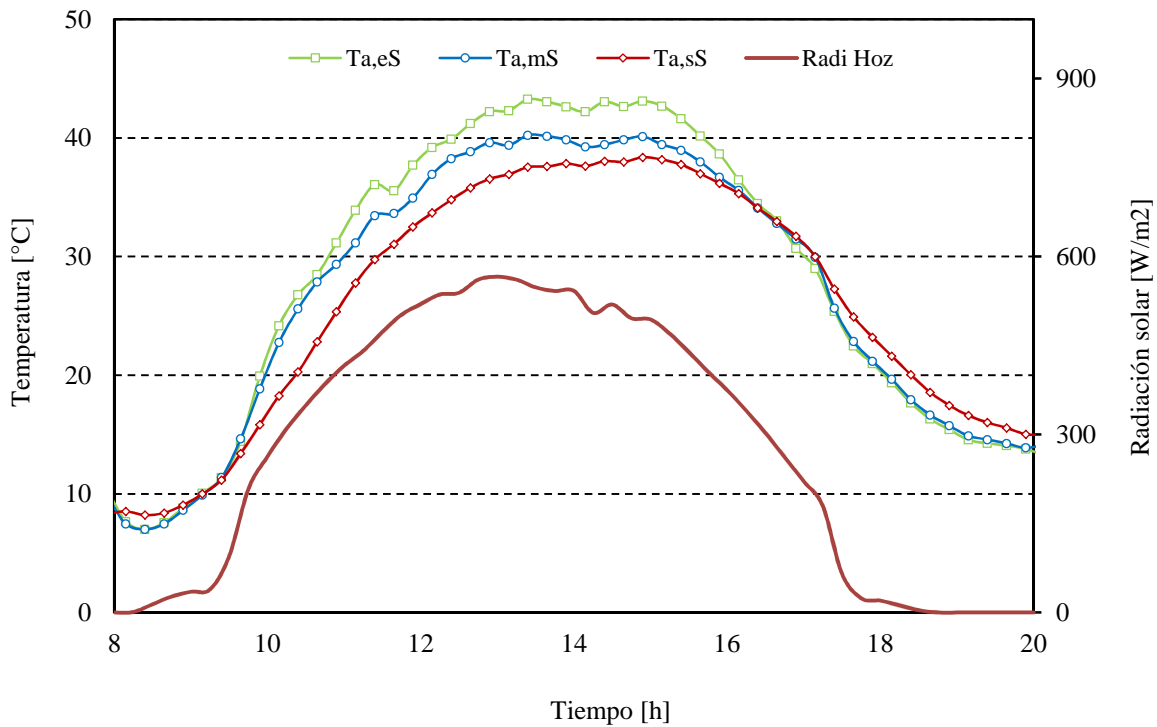


Figura N° 3. Variación de temperatura en distintos puntos del sector secador y la radiación incidente en función del tiempo.

En la Fig. 4 se muestra la variación de la diferencia de temperatura del aire a la salida del colector y la ambiente exterior, en función de la radiación incidente sobre superficie horizontal, durante el período en que funciona el secadero.

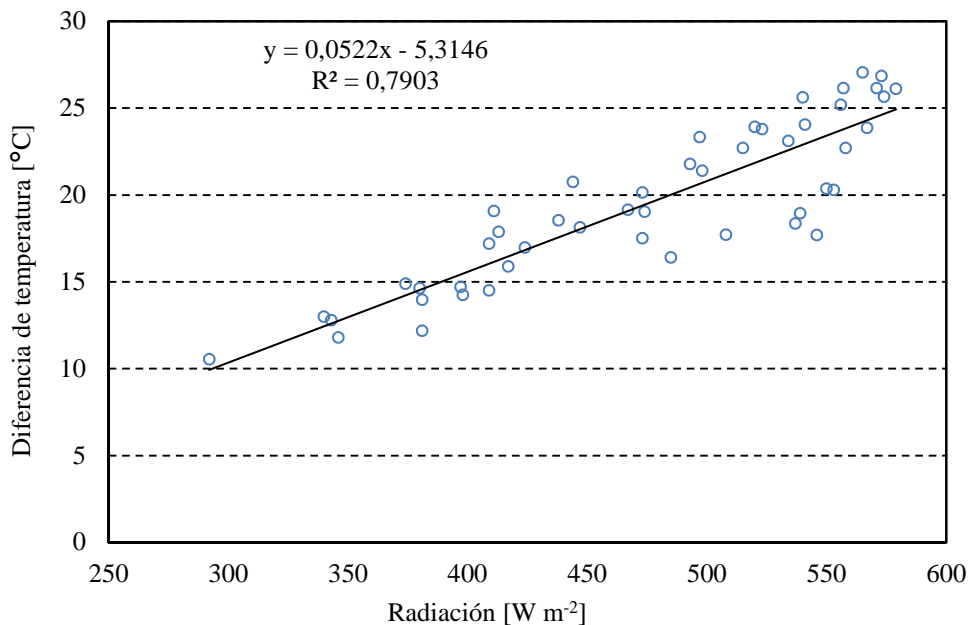


Figura 4. Correlación de la diferencia de temperatura interior y exterior del colector y la radiación incidente

La diferencia promedio de temperatura entre la salida del colector y el ambiente exterior fue de 18,2 °C y la radiación promedio diaria sobre superficie horizontal fue de 426,8 W m⁻², siendo la relación entre ellas lineal y determinada por la siguiente ecuación de regresión:

$$\Delta T_a = 0,0522 R - 5,3146 \quad R^2 = 0,80 \quad [1]$$

La humedad mínima del aire exterior durante las horas de secado fue de 32 %, la máxima de 58 % y el promedio durante el periodo de secado fue de 40,1 %, mientras la humedad relativa mínima del aire a la salida del colector fue del 15 %, la máxima de 35 % y la media de 18,6 %. Asimismo, la humedad mínima del aire a la salida del secadero fue de 16 %, la máxima de 45 % y la media de 29,1 %.

En la Fig. 5 se grafica el contenido de humedad, expresado en kg kg⁻¹ referido a base seca (bs), en función del tiempo, para cuatro muestras características del proceso de secado. Se omiten las otras muestras porque tienen comportamientos similares. La muestra de pimienta sin tratamiento fue M₆, con tratamiento de metabisulfito M₉ y blanqueado M₁₀, la ubicada sobre el tendalero expuestas al sol directo la M₂.

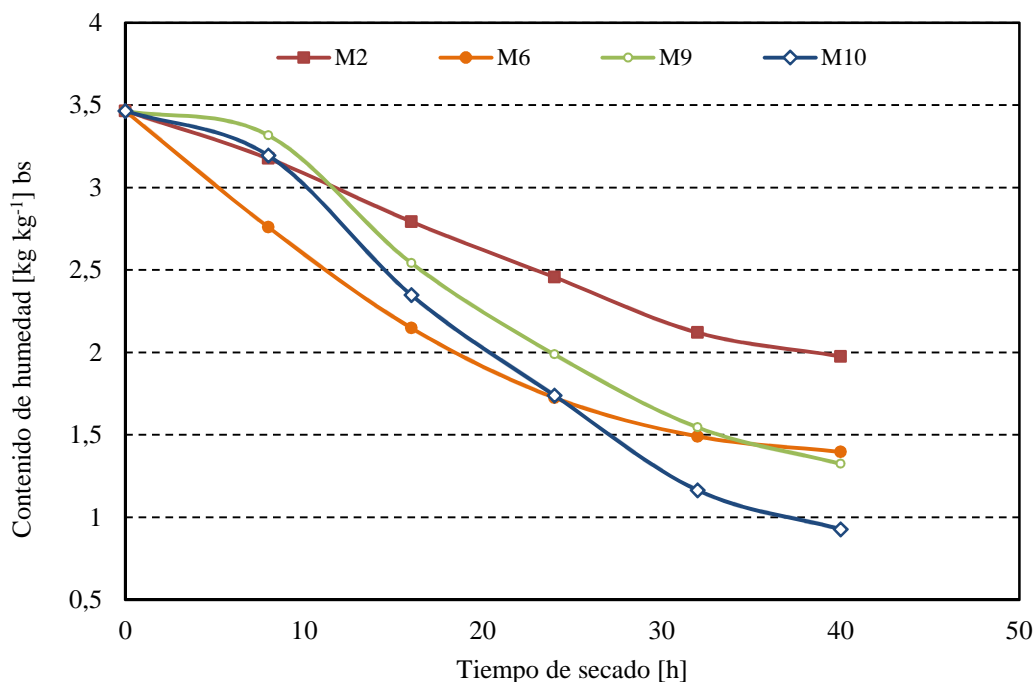


Figura N° 5. Contenido de humedad de las muestras con y sin tratamiento dentro del secadero y al aire libre

Del análisis de los resultados obtenidos se desprende que las muestras con tratamiento dentro del túnel de secado, aumentan su contenido de humedad durante las primeras horas de secado, como consecuencia de la absorción de agua durante el tratamiento.

El contenido de humedad inicial de las muestras de pimienta fue de 3,46 kg kg⁻¹ (bs). La muestra con tratamiento de blanqueado, después de 40 h de secado, llegó a un contenido de humedad de 0,92 kg kg⁻¹ (bs), la con tratamiento de metabisulfito a 1,32 kg kg⁻¹ (bs) y la sin tratamiento a 1,39 kg kg⁻¹ (bs). Mientras que las muestras expuestas al aire libre disminuyeron su contenido de humedad hasta 1,98 kg kg⁻¹ (bs), en las 40 h. Para la muestra con tratamiento de blanqueado la disminución del contenido de humedad fue de 2,54 kg kg⁻¹ (bs), lo que significa una pérdida de agua del orden de 73,4 %; para la muestra con tratamiento de metabisulfito la disminución fue de 2,14 kg kg⁻¹ (bs), perdiendo un 61,8 %. La muestra sin tratamiento disminuyó su contenido de humedad en 2,07 kg kg⁻¹ (bs), perdiendo un 59,8 %, mientras que en la muestra al aire libre, secado directo al sol sobre tendalero, disminuyó 1,48 kg kg⁻¹ (bs) y la pérdida fue de 42,8 %. Luego de las 40 horas de secado, los pimientos fueron retirados del secadero y acondicionados para lograr la homogeneización del producto en cuanto al contenido de humedad.

Como resultado, la velocidad de secado del pimienta en el secador, en todos los casos, fue mayor que la de cielo abierto, siendo las muestras tratadas las de mayor velocidad de secado, excepto al inicio del proceso. Esta disminución de la velocidad y aumento del contenido de humedad, se debe a que los tratamientos modifican los tejidos del producto, convierten la pared celular en más permeable a la difusión de humedad. Esto permite que al inicio del secado el producto absorba humedad del aire.

Existe una relación entre la velocidad de secado y el contenido de humedad del producto durante el proceso de secado. La velocidad de secado de las muestras con y sin tratamiento en comparación con el contenido de humedad durante el proceso de secado en túnel solar se muestra en las Fig. 6. Se observa que la velocidad de secado fue mayor para un mayor contenido de

humedad, reduciéndose logarítmicamente a medida que el contenido de humedad va reduciéndose. En la etapa inicial de secado, el contenido de humedad era alto por la cantidad de agua que se evapora desde la superficie exterior y las capas externas del pimiento. Como el proceso de secado avanza, la humedad en la superficie disminuye, realizándose un traspaso de agua desde el interior a la zona de evaporación. A medida que pasa el tiempo se necesita mayor energía para que la evaporación se lleve a cabo y por lo tanto la velocidad de secado se reduce, aumentando el tiempo de secado.

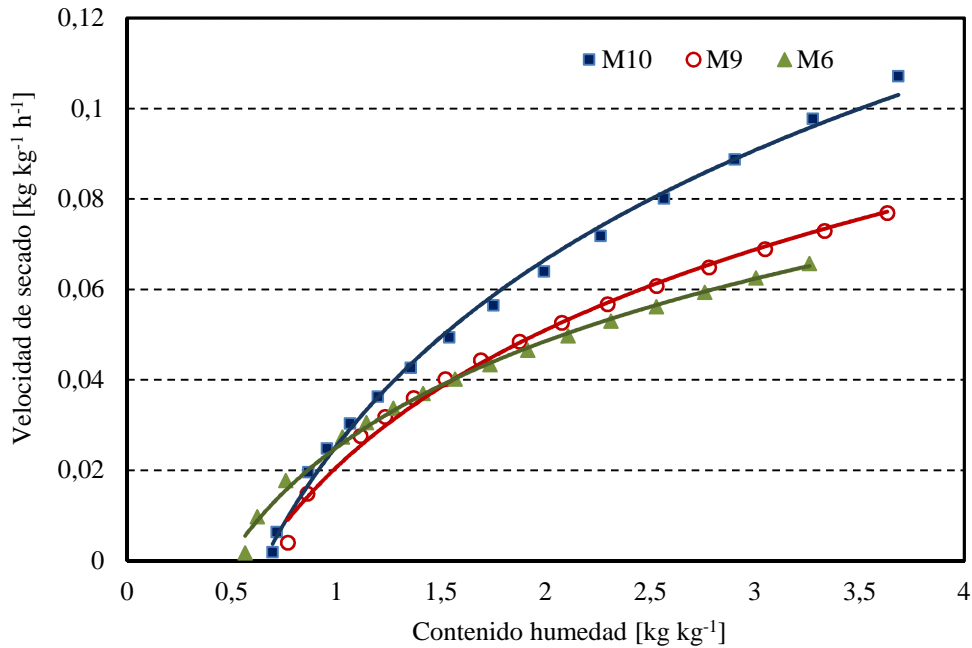


Figura 6. Velocidad de secado en función del contenido de humedad

Las siguientes ecuaciones son el resultado del ajuste de las curvas de velocidad de secado en función del contenido de humedad para pimiento y pimentón, obtenidas al derivar las curvas de secado y ajustarlas por mínimos cuadrados.

$$v_{10} = 0,0587 \ln(M_{10}) + 0,0258 \quad R^2 = 0,996 \quad [2]$$

$$v_9 = 0,0426 \ln(M_9) + 0,0217 \quad R^2 = 0,996 \quad [3]$$

$$v_6 = 0,0334 \ln(M_6) + 0,0254 \quad R^2 = 0,997 \quad [4]$$

Las siguientes ecuaciones representan la velocidad de secado para las tres muestras en estudio en función del tiempo. Se observa también que la variación de la velocidad de secado es diferente dependiendo si tiene o no tratamiento previo, Fig. 7.

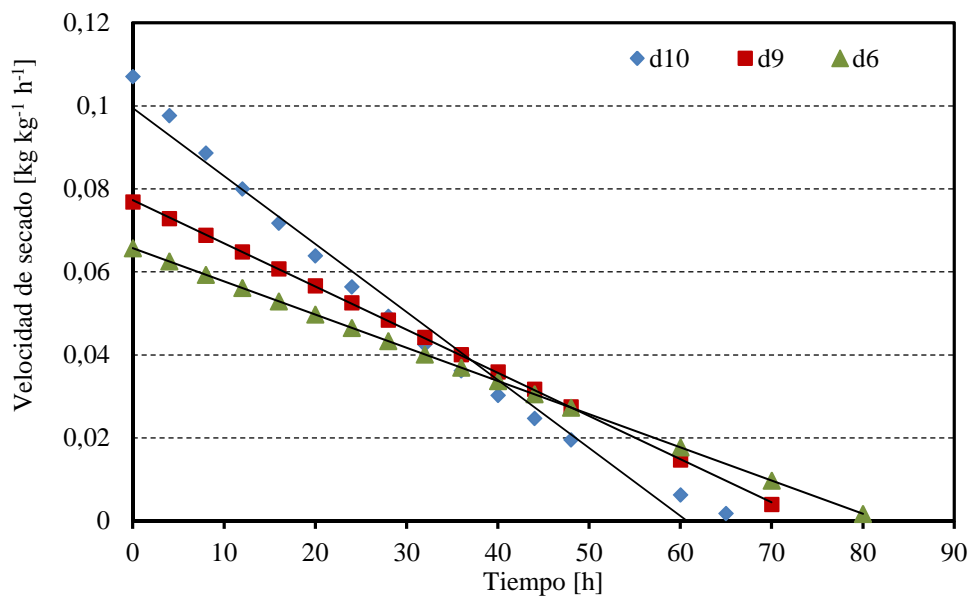


Figura 7. Velocidad de secado en función del tiempo

$$v_{10} = -0,0016 t + 0,0995 \quad R^2 = 0,9805 \quad [5]$$

$$v_9 = -0,001 t + 0,0774 \quad R^2 = 0,9999 \quad [6]$$

$$v_6 = -0,0008 t + 0,0657 \quad R^2 = 0,9999 \quad [7]$$

La muestra con menor tiempo de secado fue la blanqueada, logrando reducir el tiempo de secado en un 25 % respecto de la muestra sin tratamiento; para la muestra con tratamiento con metabisulfito de sodio el tiempo se redujo en un 12,5 % respecto a la sin tratamiento. La diferencia entre ambas tratamiento fue de un 12,5 %.

CONCLUSIONES

Este secadero es de fácil construcción, fabricado con materiales locales, bajo costo y mano de obra no especializada. La capacidad de carga (100 a 120 kg) es razonable para el volumen que operan los pequeños productores.

Las condiciones de ingreso del aire al secadero fueron, para valores promedios, de temperatura de 20,1 °C y humedad relativa de 40,1 %, a la salida del colector temperatura de 40,1 y humedad relativa de 18,1% y a la salida del secadero temperatura de 33,45 y humedad relativa de 29 %. Esto indica que la temperatura promedio del aire en contacto con el producto es baja, con lo cual el tiempo de secado es mayor.

El secado en esta época del año es más lento por el nivel de temperatura ambiente y baja radiación sobre superficie horizontal. La incorporación de sistemas de calentamiento auxiliar, quema de desechos agrícolas, disminuiría el tiempo de secado. De todas maneras, hay que tener en cuenta que en esta época del año el producto maduro puede permanecer mayor tiempo en la planta e incluso perder algunos gramos de agua antes de ingresar al secadero.

Los pretratamientos resultaron eficientes para la retención del color y para aumentar la velocidad de secado. Sin embargo, en cuanto a la reducción del tiempo de secado es mayor para la muestra blanqueada. Será importante definir si es conveniente el blanqueado frente al metabisulfito en lo que respecta a la mano de obra extra y su toxicidad.

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.K., 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*. pp. 121 – 129. *Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 13.
- Jairaj K., Singh S. and Srikant K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying, *Solar Energy* 83, pp. 1698-1712.
- Iriarte A., S. Bistoni, V. Luque, M. Lara y L. Brizuela. (2010). Secadero tendalero con chimenea solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 14, pág. 2.01- 2.08.
- 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*, pág. 225 - 232. Vol.15.
- Trim, D.S. (1982). Development of a forced convection solar drier for red chilli. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 59 (4), pp. 319-323.
- Esper, A., Muhlbauer, W. (1996). Solar tunnel dryers for fruits. *Plant Research and Development* 44, pp. 61-80.
- Hossain M.A., B.K. Bala. (2007). Drying of hot chilli using solar tunnel drier *Solar Energy* 81, pp. 85-92.
- Philip, S.K., Sharma, S., Rao, C.S. (1993). Installation and performance monitoring of a commercial solar drier for chillies. *Proceedings of the National Solar Energy Convention*. Vadodara, Gujaraton, December pp. 11-13.

ABSTRACT: Spice and condiment are mainly produced by small farmers in Belén, Province of Catamarca, including particularly the pepper for paprika, anise, garlic and cumin. There are also productions of fruits to be dehydrated. The income from these dehydrated products is not optimal because the preservation is inadequate. In this paper a mixed force convection solar tunnel drier is proposed. It consists of a transparent plastic covered flat plate collector and a drying chamber connected in series. The air circulates by means of two fans. The characterization of drying pepper for paprika is shown in samples with and without treatment, during winter. The variations of temperatures and humidity's and the drying rate as a function of moisture content and time are analyzed. Even though the final product was of good quality, low radiation and ambient temperature increased drying time. Blanching and sulphiting treatment improved the dry pepper's color and reduced drying time in a 25% and 12.5 % respectively.

Keywords: rack dryer, active solar dryer, pre-drying treatments, pepper for paprika