

SECADERO TENDALERO SOLAR – BIOMASA PARA PIMIENTO PIMENTONERO

S. Bistoni, V. García, M.I. Rodríguez³, A. Iriarte¹, S. Justianovich²
Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca
M. Quiroga N° 93, 4700 – Catamarca, Argentina. silviabistoni@gmail.com

Recibido 14/08/14, aceptado 26/09/14

RESUMEN: En la región del Valle Central de Catamarca la cosecha del pimiento pimentonero se realiza en dos oportunidades: en los meses de abril y mayo. Dada las condiciones climáticas de la región es imprescindible el uso de secaderos para el tratamiento post cosecha de este producto. En el presente trabajo se estudia el comportamiento de un secadero tipo túnel con convección forzada al que se le ha adosado un quemador de biomasa. Se estudia el funcionamiento del secadero con el quemador mediante de parámetros característicos, se analiza el secado de pimiento para pimentón variedad "Lautaro" mediante la curva de secado y se determina la curva de adsorción empleando el método estático, a fin de obtener información sobre condiciones apropiadas de secado y almacenamiento para optimizar la calidad del producto y la estabilidad biológica del mismo. El uso del quemador permitió realizar el proceso de secado en días sin radiación solar.

Palabras Clave: secado solar, quemador de biomasa, pimiento pimentonero

INTRODUCCION

El pimiento para pimentón se cultiva principalmente en los Valles Calchaquíes. En la provincia de Catamarca esta actividad se localiza en los Departamentos de Santa María y Belén. Este tipo de pimiento se cosecha al estado maduro de color rojo en los meses de marzo y abril; posteriormente se hace secar hasta que las vainas poseen una consistencia correosa al tacto, para luego ser molido en molinos especiales hasta el punto o grado de impalpable lo que constituye el "pimentón", producto que es comercializado en el mercado (Carabajal, 2000).

La mayoría de los productores secan su producción directamente al aire, porque la región se caracteriza por tener altas temperaturas, buenos niveles irradiación y heliofanía. Pero en las zonas tradicionales de cultivo la sostenibilidad de los sistemas productivos se ve comprometida, debido al deterioro del suelo por el monocultivo anual. Además la calidad de los productos que se obtienen no se adecua a las exigencias de los diferentes mercados. Esencialmente los problemas de calidad derivan de los procesos de poscosecha, principalmente secado y almacenamiento, aunque no se descartan inconvenientes debido a la fertilización, tratamientos sanitarios, riegos y manipuleo propio de la producción. En este sentido la mejora en la tecnología de implantación, riego y fertilización, mediante ajuste de parámetros de cosecha, poscosecha, conservación y transporte de producto final, redundará en la calidad del producto.

El Valle Central de Catamarca es un punto integrante de la red nacional de ensayos comparativos de cultivares de pimiento para pimentón. Mediante estos estudios se pretende lograr cultivares de pimiento para pimentón, de óptima calidad comercial, color adecuado, baja o nula pungencia, rendimientos superiores y adaptados a estas diferentes condiciones climáticas.

En esta región la cosecha se realiza en dos oportunidades con diferencia de un mes entre ellas; generalmente abarca los meses de abril y mayo. Dado a que las condiciones climáticas del Valle central son diferentes a las de Santa María y Belén, es imprescindible el uso de secaderos para el secado post cosecha.

Los secaderos con convección natural si bien son económicos, porque no requieren de energía eléctrica y generalmente son de bajo costo, presentan la limitación de la baja velocidad del aire dentro de ellos. Bala et al. (2003) han desarrollado un secadero solar tipo túnel para el secado de ananá en Bangladesh. El mismo posee un ventilador con un panel fotovoltaico para proveerle energía eléctrica. Este secadero también fue utilizado para el secado de pimiento picante rojo, llegándose a la conclusión que es un sistema apto para el secado de este producto (Hossain y Bala, 2007).

En la región pimentonera de la provincia de Catamarca, se han realizado experiencia de secado utilizando un secadero tipo túnel con convección forzada. Debido a que se cuenta con disposición de electricidad, la energía necesaria para accionar el ventilador se obtuvo directamente de la red. El secadero ha demostrado ser apto para el secado de pimiento para pimentón en

¹ Investigador del CONICET

² Investigador del INTA

³ Becaria CIN

cuanto se observa una disminución del tiempo de secado y la mejora en la calidad del producto (Iriarte et al, 2012; Bistoni et al, 2013). Sin embargo y teniendo en cuenta que la cosecha del pimiento pimentonero en el Valle Central se realiza en una época del año con condiciones climáticas inestables, se adosó al secadero túnel un quemador de biomasa para ser utilizado durante los días nublados o muy fríos.

En el presente trabajo se describe el secadero solar tipo túnel con aporte de biomasa, con quemador adosado, se analiza el secado de pimiento para pimentón variedad "Lautaro" y se determina la curva de adsorción de esta variedad a fin de obtener información sobre condiciones apropiadas de secado y almacenamiento para optimizar la calidad del producto y la estabilidad biológica del mismo.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del secadero túnel

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 que también recibe radiación solar. Ambas partes 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 estructura de madera sobre la cual se colocan las bandejas. Por debajo de las bandejas, a 0,10 m, 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.

A 0,10 m sobre placa colectora (sector colector) y sobre las bandejas (sector secadero) hay una cubierta plana de plástico UV térmico, formando un ducto por donde circula el aire, succionado por dos ventiladores axiales de 45 W cada uno, colocados en el ingreso al colector. Todo el sistema, colector y secadero, tiene una segunda cubierta semicircular de plástico. La carga y descarga de los productos se realiza por los costados del módulo de secado, Fig.1.

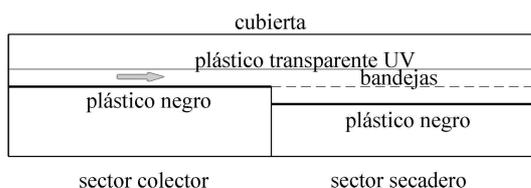


Figura 1. Esquema y vista del secadero tipo túnel

Descripción del quemador de biomasa

El quemador se instaló en la parte oeste del equipo solar, a la entrada del colector solar. Está construido en chapa de acero con un sistema de doble pared de 0.10 cm de espesor. Sus dimensiones son: 0,90 m de largo, 0,40 m de ancho y 1,20 m de alto. Como el equipo es con intercambiador de calor, consta de dos cámaras independientes: una es para la quema de la biomasa y la otra es un intercambiador de calor, Fig.2. Esta última posee una chimenea y en su interior lleva separadores horizontales de chapa formando ductos perimetrales (Rodríguez et al. 1999).

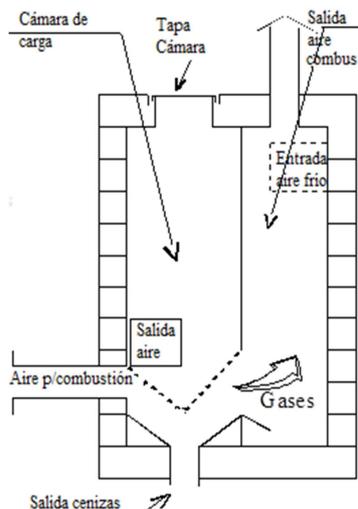


Figura 2. Esquema del quemador de biomasa

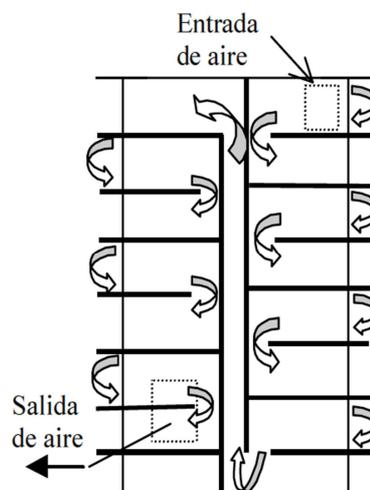


Figura 3. Esquema de la circulación del aire en intercambiador

Mediante un ventilador de 100 W (1/8 HP) se inyecta el aire en la cámara de combustión para producir la quema del material.

Los gases producidos por la combustión pasan a la zona de intercambio por una ventana ubicada en la pared divisoria y son expulsados al exterior por la chimenea. El aire a calentar ingresa a temperatura ambiente a la zona interna de la doble pared Fig. 3 (entrada de aire), por un conducto ubicado en el lado lateral derecho de la cámara de intercambio. Circula en contracorriente por los ductos perimetrales hasta llegar a la parte inferior de este recinto, asciende nuevamente en forma vertical, y pasa a la zona de almacenamiento donde realiza un circuito similar al anterior, para finalmente salir por una abertura ubicada en la parte lateral opuesta a la entrada.

Determinación curvas de sorción

Las isoterms de adsorción se determinaron utilizando el método estático, exponiendo las muestras a atmósferas generadas con soluciones salinas saturadas a 30 °C hasta alcanzar el equilibrio másico (García et al, 2007).

Los pimientos se secaron en estufa, con convección forzada a 60 °C hasta obtener peso constante. Posteriormente las muestras, por duplicado, fueron expuestas a atmósferas con diferentes porcentajes de humedad relativa y a una temperatura de 30 °C ± 2°C. Para ello se introdujeron en recipientes cerrados (desecadores) con diferentes soluciones salinas saturadas, las cuales generaban atmósferas de una actividad de agua (a_w) determinada.

Se utilizaron las siguientes soluciones saturadas CH_3COOK , MgCl_2 , NaBr , NaCl , KCl , BaCl_2 , con los que se obtuvieron los siguientes % de humedad relativa: 23,00; 32,00, 57,00; 75,00; 84,00 y 89,00 respectivamente, cubriendo un rango de actividad de agua entre 0,20 y 0,89 a 30 °C, (Comaposada et al., 2000).

Se pesaron doce muestras de pimiento con una precisión de 0,0001 g y se colocaron sobre discos de porcelana, dentro de desecadores a humedades relativas constantes, los cuales se cerraron herméticamente, sin circulación de aire.

El registro de masas se realizó cada cinco días, hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas no excedió el 0,2 %. Dos muestras fueron llevadas a peso seco, en estufa a 102 °C. Una vez alcanzado el equilibrio másico se determinaron los contenidos de humedad en base seca (bs), valores que se tomaron como indicadores de equilibrio de saturación de humedad. Con estos datos se construyeron las correspondientes isoterms de adsorción (García et al, 2007).

Cinética del proceso de secado

El producto a secar fue la variedad "Lautaro" de pimiento pimentonero. A fin de evaluar el comportamiento del secadero mixto solar – biomasa se lo cargó con leña, dos veces al día durante el proceso de secado, según las necesidades del proceso.

Las temperaturas y humedades relativas en distintos puntos del secadero y colector fueron monitoreadas durante todo el proceso y mediante diagrama psicrométrico se determinó la humedad específica del aire, w , (g de agua/g de material seco).

La curva de secado se determinó según el contenido de humedad en base seca hasta obtener el porcentaje de humedad adecuado. Para ello se seleccionaron seis muestras de pesos similares que se colocaron en diferentes sitios dentro del secadero. Las muestras se pesaron dos veces al día: a las 9 y a las 18 h. El peso seco del producto se determinó llevando una muestra fresca a estufa (102 °C) hasta conseguir peso constante.

Instrumentos de medición

Las velocidades de circulación del aire se registraron mediante un anemómetro de hilo caliente, rango 0 - 16,0 $\text{m s}^{-1} \pm 0,2\text{ms}^{-1}$. Para control de carga de combustible se utilizó una balanza digital, rango de 0 - 5,00 kg ± 0,01 kg. Las pesadas de las muestras para la determinar la curva de sorción se realizaron en una balanza analítica con precisión ±0,0001 g. Las pesadas de las muestras para determinar proceso de secado en el secadero se realizaron mediante una balanza electrónica (Mettler ± 0,1g). Para la pesada inicial y final del producto se utilizó una balanza de plato (± 1g).

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 ± 0,2 °C, resolución de 0,02 °C) y humedad relativa del aire entre 10 – 90 % (precisión de ± 2,5 %, resolución de 0,1 %). También se usaron Data Logger tipo HOBOS U12 con sensores internos y externos; temperatura (± 0,5 °C) y humedad (± 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 (± 5 %) y las variables meteorológicas se determinaron con la estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia.

RESULTADOS

Curva de adsorción

En el Fig.3 se muestra la curva de adsorción es decir los valores de contenido de humedad experimental (bs) obtenidos en el equilibrio, en función de la actividad del agua a la temperatura de 30 ± 2 °C. Como se aprecia, la curva de adsorción es una isoterma tipo II, de forma sigmoidal o tipo S, típica de frutas y vegetales (Cyted, 1992). En la Fig. 5 se muestra los desecadores en donde se colocaron las muestras para la determinación de la curva de sorción según el método estático.

De la misma se determina que para lograr la estabilidad microbiológica en el pimiento pimentonero variedad Lautaro ($a_w < 0,60$) el contenido de agua final del producto debe ser aproximadamente de 18 g de agua por cada 100 g de muestra seca.

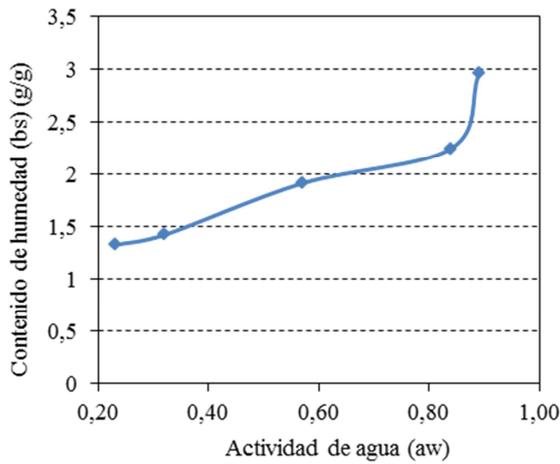


Figura 4. Curva de adsorción de la variedad Lautaro del pimiento para pimentón



Figura 5. Desecadores dentro de estufa

Secado solar – biomasa

El pimiento fue cosechado a fines del mes de abril. En la primera carga del secadero, que es la que se estudia en este trabajo, se cargaron 82,000 kg de pimiento pimentonero variedad "Lautaro". A los cinco días de comenzado el proceso de secado, y habiéndose alcanzado el contenido de humedad adecuado se retiraron 19,700 kg, con una relación de secado, $R_s = \text{Peso inicial/peso final} = 4,16$.

En la tabla 1 se resumen las condiciones meteorológicas imperantes durante los días que duró el proceso de secado. Como puede apreciarse los dos primeros días fueron de muy baja radiación solar, incluso durante el segundo día se presentaron precipitaciones desde la madrugada.

Día	Temperatura (°C)	HR _{promedio} (%)	Irradiación (MJ/m ²)	Descripción
1	Min: 14,9 Max: 20,5	73	5,54	Nublado
2	Min: 12,7 Max: 14,3	94	2,98	Nublado Llovizna leve
3	Min: 12,8 Max: 20,5	80	9,61	Semi Nublado
4	Min: 6,9 Max: 26,5	64	14,26	Claro
5	Min: 8,1 Max: 23,7	71	13,43	Claro

Tabla 1. Datos meteorológicos de los días de secado

La Fig. 6 permite apreciar los niveles de irradiancia durante los días del ensayo de secado, como así las variaciones de la temperatura ambiente en este período. La Fig. 7 muestra la humedad del aire exterior, observándose que se mantiene en valores mayores a 80 % en la mayor parte del tiempo de secado.

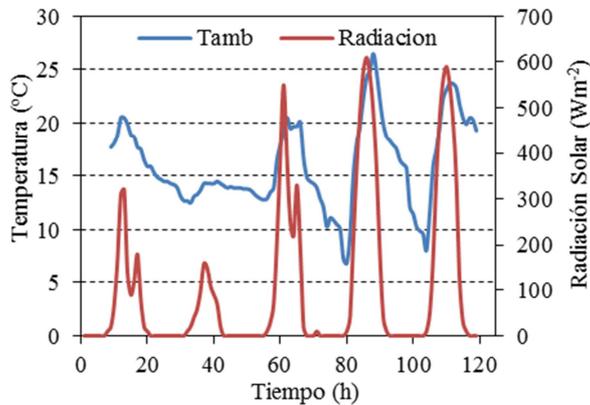


Figura 6. Variación de la temperatura del aire exterior y la irradiancia durante los días de secado

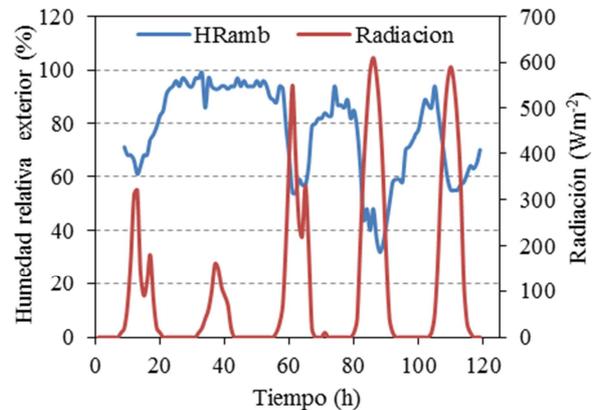


Figura 7. Variación de la humedad relativa del aire exterior y radiación en el período de secado

Debido a las condiciones climáticas imperantes en el momento del proceso de secado, fue necesario poner en funcionamiento el quemador durante los tres primeros días y se realizó una carga de leña durante la mañana del cuarto día ya que se registraban temperaturas bajas. Cantidad de leña empleada, potencia total y consumo por hora del quemador se muestran en la Tabla 2.

Día	Hora (h)	Cantidad de leña (kg)	Energía aportada por la leña (MJ)*	Aporte del quemador (MJ/h)
1	9	30	594	85
	19	20	396	56
2	8	30	594	85
	18	20	396	79
3	9	25	495	62
	18	30	594	74
4	9	27	535	67
5	--	---	----	----

*Poder calorífico de la leña 19,8 MJ/kg

Tabla 2. Resumen del funcionamiento del quemador

En la Fig. 8 se observa la curva de secado para una muestra en función del tiempo real de secado, sin tener en cuenta la los periodos donde no hubo funcionamiento del secadero. El flujo másico promedio del aire dentro del ducto del secadero fue de 0,17 kg/s. Durante el primer y tercer día y en horas de la mañana, la pérdida de agua en función del tiempo fue similar, con una velocidad promedio de secado de 0,08 g/g. h. Esto se debe a que, si bien durante el primer día la pérdida de agua es mayor, debido a la presencia de agua en la superficie, en el tercer día mejoraron las condiciones climáticas y se utilizó el quemador.

Durante la mañana del segundo día y a pesar del uso de leña, la velocidad promedio de secado disminuyó aproximadamente a la mitad, debido a la baja temperatura ambiente, alta humedad relativa y a la presencia de llovizna. Durante el cuarto día y debido al uso del quemador durante la mañana y a los niveles de radiación solar se produjo la máxima velocidad promedio de secado, con un valor de 0,10 g/g. h. Durante las noches en que se utilizó el quemador la velocidad de secado tuvo un valor promedio de 0,016 g/g. h. La curva discontinua se debe a que durante la noche del cuarto y quinto día no se realizó secado debido a que el quemador no fue cargado con leña.

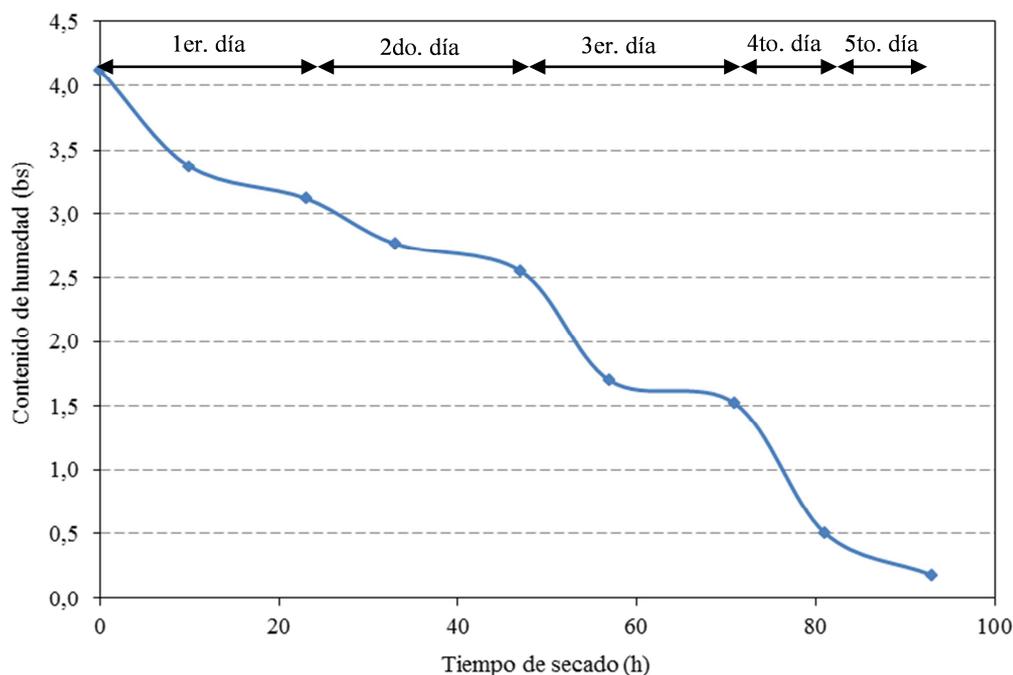


Figura 8. Curva de secado de la variedad Lautaro del pimiento pimentonero

La Fig. 9 muestra la humedad específica del aire a la salida del secadero ($w_{salseca}$) y la humedad específica del aire ambiente (w_{amb}), en función del tiempo. Como se observa la humedad específica del aire ambiente durante los días de ensayos se mantuvo relativamente constante con un valor promedio de 8,56 g/kg de aire seco, mientras que la humedad relativa del aire a la salida del secadero presenta valores máximos de 29,8 g/kg, 25,3 g/kg y 21,0 g/kg a las 12 del primer, tercero y cuarto día, respectivamente. Durante la noche del primer día se tuvo un valor máximo a las 20 h de 16,7 g/kg. En el segundo día, de baja radiación y uso del quemador (50 kg de leña) solo se aprecia un salto de 7 g/kg respecto al valor promedio de la humedad

específica del aire exterior. En los días que no se prendió quemador durante la noche (cuarto y quinto) no hay variación significativa de las humedades relativas involucradas.

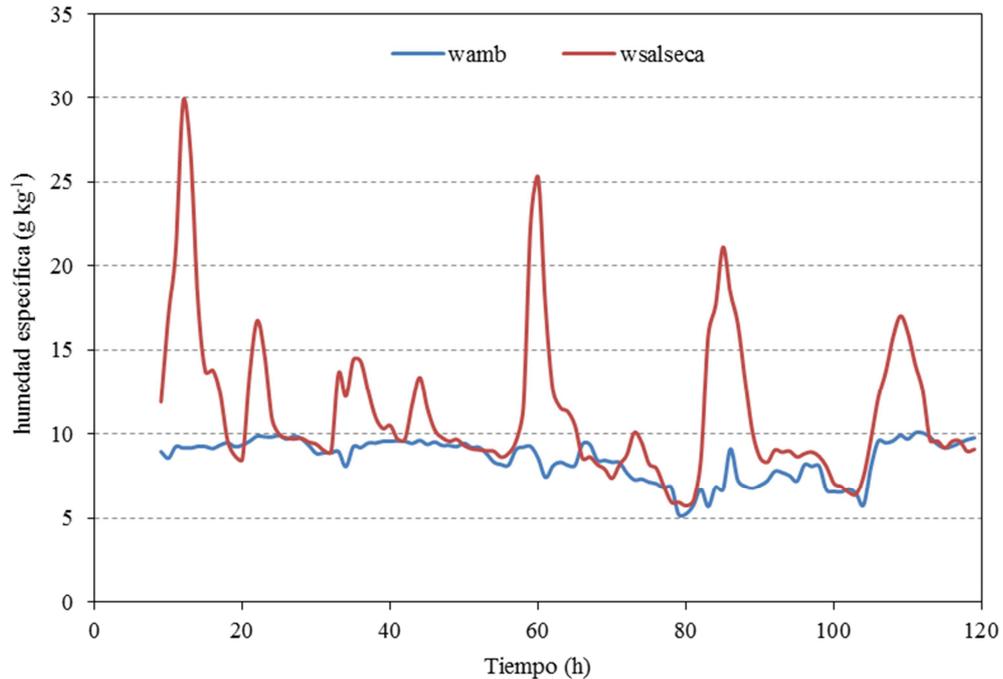


Figura 9. Variación de la humedad específica del aire ambiente y del aire a la salida del secadero

Del análisis de las variaciones de la temperatura del aire a la entrada del colector (T_{a_cole}), y en el secadero (T_{a_seca}), Fig.10 se aprecia que durante los dos primeros días, que fueron nublados y que funcionó el quemador, entre las 9 horas y las 17 horas la temperatura máxima promedio del aire a la entrada del colector fue de 64° C, mientras que en la cámara de secadero fue de 43,12 °C durante el mismo período de tiempo. Esta disminución de la temperatura se debe a las siguientes cuestiones. Por un lado como el colector no posee aislación en los laterales, las pérdidas de calor son importantes en los 5 m de longitud; y por otro lado en la cámara de secado, el producto absorbe calor para evaporar el agua que contiene. Además en esta circunstancia la cámara de secado no recibe radiación solar. Durante las noches el salto térmico entre ambas temperaturas fue de 13°C. Durante la mañana del tercer día y cuarto día se observa un aumento de ambas temperaturas debido a la presencia de la radiación solar. Mientras que durante el quinto día, con buenos niveles de radiación, sin funcionar el quemador, y con el producto con bajo contenido de humedad agua, temperatura del aire en la cámara de secado fue superior en 4 °C a la del aire en el colector.

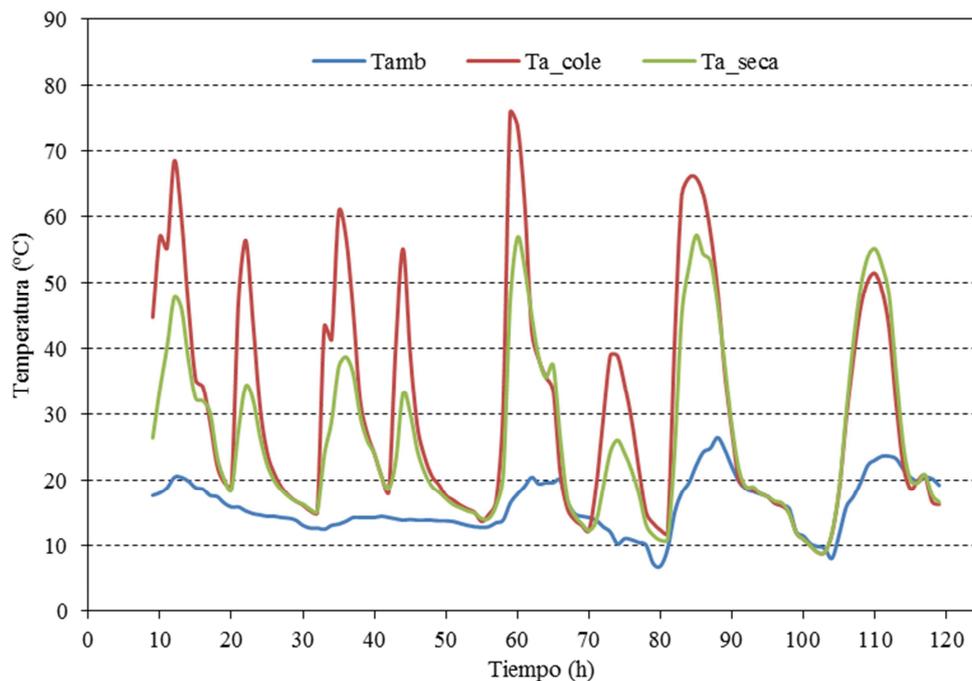


Figura 10. Temperaturas en secadero, colector y aire exterior

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del secado del pimiento pimentonero en la región del Valle central, utilizando el secadero túnel con la combinación de solar y biomasa fueron positivos. A pesar de las adversas condiciones climáticas el producto deshidratado se obtuvo en cinco días y de buena calidad.

Se observa que en días nublados, es decir cuando el colector solar no cumple su función específica, las pérdidas de calor que se originan en esta zona del secadero son importantes. Esto sugiere la necesidad de mejorar la aislación del colector o cambiar la ubicación del quemador en el sistema.

La curva de adsorción de la variedad estudiada permitió determinar con mayor precisión el tiempo necesario de secado.

REFERENCIAS

- Bala B.K. Mondol M.R., Biswas B.K. Das Chowdur B.L y Janjai S., 2003, Solar drying of pineapple using solar tunnel drier, *Renewable Energy*, 28 , 183-190.
- Bistoni S., Iriarte A., Luque V. y García V., 2013, Caracterización de un secadero tipo túnel a convección forzada, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, CD.
- Carabajal D., 2000, Secadero tendalero con cubierta plástica. Folletos de divulgación de INTA Catamarca.
- Cyted, Ingeniería del secado solar, 1992, Editores Corvalan, Horn, Roman y Saravia, Subprograma VI: Nuevas fuentes y conservación de la energía.
- Comaposada, J., Gou, P., Arnau, J. 2000, The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms, *Meat Science*, Vol. 55, n. 3, 291-295.
- García S.V., Schmalko M.E. y Tanzariello A., 2007, Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones, *RIA*, 36 (1), 115-129, INTA, Argentina.
- Hossain M.A. y Bala B.K., 2007, Drying of hot chilli using solar tunnel drier, *Solar Energy*, 81, 85 – 92.
- 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, CD.
- Rodríguez C, Iriarte A. y Luque V., 1999, Quemador de biomasa con flujo de aire indirecto para uso combinado con energía solar en el calentamiento de invernaderos. *Avances Energía Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 3 N° 2. 02.5-02.8.

ABSTRACT. In the Central Valley of Catamarca there are two harvests in the year: in April and May. Due to climatic conditions of the region it is essential to use dryers for post-harvest treatment of the product. In the present work the behavior of the forced convection tunnel dryer with a biomass burner attached is studied. The solar drier plus burner behavior is study and drying peppers for paprika, variety "Lautaro", is analyzed through drying curve. The adsorption curve of this variety is determined by means of static method in order to obtain information on appropriate drying and storage to optimize product quality and stability of the biological conditions. The system has proved to be suitable for drying peppers for paprika even on cloudy days.

Keywords: solar dryers; solar drying; biomass burner