

EL SECADO SOLAR DE MEMBRILLO. UNA ALTERNATIVA PARA LA ECONOMÍA REGIONAL

Silvia Bistoni¹, Adolfo Iriarte¹, Claudia Salim Rosales² y Patricia Gómez²

(1) Grupo de Energías Renovables - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca

(2) Laboratorio de Química, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCa

SOLAR DRYING OF QUINCE. AN ALTERNATIVE FOR REGIONAL ECONOMY

SUMMARY

In Argentina, the quince plantation is of 2,948 hectares, being Mendoza and San Juan the most important productive provinces. In the province of Catamarca there are 247.9 ha implanted, this is the 9 % of the cultivated surface. The most common uses are pickles fruit, marmalade, jams, jellies, sweet meat or to add flavor to food. It is also used in medicine because of its properties. One way to extend the use of quince during the whole year is by dehydration. There are many different dryers designs, among them the solar dryers are of interest for the region. To determine the final moisture content for maintaining the product without risk of microorganisms or other pathogens, it is necessary to determine the water activity of food. For a given temperature, the correlation between water activity and moisture content of each food is called sorption isotherm. In this paper a solar dryer type tendalero, with a solar chimney, is described. The sorption isotherm of slices of dehydrated quince (*Cydonia oblonga*) is fixed experimentally. The thermal behavior is analyzed and the results of quince drying are shown. The dryer is of simple construction and easy operation, allowing rapid adoption by producers. Dehydration adds value to quince as a regionally interesting product because it can be used even out of season.

KEY WORD: solar dryer, quince, sorption isotherm

RESUMEN

En Argentina la superficie implantada con membrillo es de 2.948 has. Las principales provincias productoras son Mendoza y San Juan. En la provincia de Catamarca se hallan implantadas 247,9 ha, es decir el 9 % de la superficie cultivada. El uso más común es en la elaboración de conservas, mermeladas, jaleas, dulces, compotas o para agregar sabor a los alimentos. También se emplea en medicina debido a

sus propiedades astringentes, tónicas y estomáticas. Una forma de ampliar el margen de uso del membrillo es mediante el deshidratado. Existen numerosos diseños de secaderos. Entre ellos son de interés para la región los secaderos solares. Para determinar el contenido final de humedad que permita conservar el producto sin riesgo de microorganismo u otros agentes patógenos es necesario determinar la actividad de agua del alimento. Para una temperatura determinada la correspondencia entre la actividad de agua y el contenido de humedad de cada alimento se denomina isoterma de sorción. En el presente trabajo se describe un secadero solar tipo tendalero adaptado para funcionar como secadero solar pasivo con una chimenea solar incorporada. Se encuentra experimentalmente la isoterma de sorción de rodajas de membrillo (*Cydonia oblonga*) deshidratadas, se analiza térmicamente el sistema y se muestran los resultados del secado de membrillo. El secadero es de fácil construcción y de manejo sencillo, lo que permite una rápida adopción por parte de los productores. El membrillo deshidratado agrega valor a este producto de interés regional porque permite utilizarlo fuera de la época de cosecha..

PALABRAS CLAVES: Secadero solar, membrillo, isoterma de sorción

INTRODUCCION

El membrillero es autóctono de Europa meridional y de los países a orillas del mar Caspio (Persia y Armenia). Hoy día crece de forma natural en el centro y sudoeste de Asia (Armenia, Turkistán, Siria) y se cultiva en Grecia, Países Balcánicos, España y Argentina. A nivel nacional la superficie implantada con membrillo es de 2.948 has. Esta superficie representa el 1% de las hectáreas implantadas con frutales en nuestro país. Las principales provincias productoras son Mendoza y San Juan. En la provincia de Catamarca se hallan implantadas 247,9 ha, es decir el 9 % de la superficie cultivada en Argentina (Álvarez Parma, 2006).

En los últimos años el cultivo de membrillo ha llegado a ser una importante alternativa de mercado debido al conocimiento de sus propiedades como alimento en fruta fresca o industrializado. El uso más común es en la elaboración de conservas, mermeladas, jaleas, dulces, compotas, licores de mesa o para agregar sabor a los alimentos. También se emplea en medicina debido a sus propiedades astringentes, tónicas y estomáticas.

Una vez recolectados, los membrillos se conservan en el frigorífico durante dos o tres meses, envueltos en papel y por separado. Las grandes fábricas de dulces compran en el momento de la cosecho los membrillos a precio bajo y preparan la pulpa, que luego la congelan para utilizarla durante el año.

Otra forma de conservarlos es mediante el deshidratado. En este sentido el secado del membrillo ampliará el margen de uso del producto, multiplicando las actividades económicas regionales y

permitiendo que la región sea genuinamente competitiva y que tenga posibilidades de trascender al mercado nacional.

Este método de conservación se basa en la disminución de la actividad acuosa de los alimentos y agrega valor a los productos obtenidos por cuanto permite el consumo de los mismos fuera de la temporada de cosecha, sin necesidad de refrigeración o agregado de conservantes. Asimismo, se reduce el peso y el volumen, lo cual facilita el transporte y el almacenamiento.

Para efectuar el secado de productos alimenticios se emplean diferentes técnicas, como por ejemplo el secado tradicional al sol, el empleo de equipos industriales generalmente a gas, diesel o eléctricos y los secaderos solares que buscan optimizar las técnicas del secado solar tradicional, a la vez que permiten ahorrar combustibles fósiles y mejorar la calidad del producto (Cytel, 1992).

Existen numerosos desarrollos de sistemas solares para el secado de productos, desde diseños sencillos hasta más sofisticados. Los más sencillos consisten de una estructura con estanterías en donde se coloca el producto y el viento pasa a través de ellas llevándose el vapor de agua. Otros diseños sencillos están contruidos por una caja con la cubierta transparente y en donde se coloca el producto. En la parte frontal y posterior de la caja lleva unos orificios que permiten la circulación del aire dentro del secadero. En otros diseños el producto se coloca en bandejas dentro de una cámara. El aire que previamente ha aumentado su temperatura al circular por un colector solar, ingresa a la cámara y circula entre la bandejas. La circulación del aire puede ser por convección natural o forzada, (Cytel, 1992; Halla *et al*, 1996, Condoriet *al*, 2008, Jairajet *al*, 2009).

Antes de proceder al secado de un producto es importante determinar el contenido de humedad final de un producto para que éste sea estable durante un tiempo prolongado. Un parámetro comúnmente utilizado como indicador para predecir la vida útil de un producto es la actividad de agua, a_w . Este valor indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas y desarrollo microbiano (Vega Galvezet *al*, 2006). La estabilidad microbiológica se obtiene para una actividad de agua $\leq 0,6$, (Cytel, 1992).

La relación entre la a_w y el contenido de humedad de un alimento, a una temperatura constante, se denomina isoterma de sorción de agua. La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica del agua del mismo, ya que en el equilibrio, este último parámetro es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto (Zug, 2002). De su análisis se obtiene información útil para la optimización del proceso de secado y permite conocer la evolución en el contenido de humedad durante el almacenamiento (García *et al*, 2007). Además son importantes para predecir los cambios en la estabilidad de los alimentos y en la elección del material de empaque adecuado (Zhang *et al*, 1996).

En el presente trabajo se describe un secadero solar tipo tendalero adaptado para funcionar comosecadero solar pasivo con una chimenea solar incorporada. Se encuentra experimentalmente la isoterma de sorción de rodajas de membrillo (*Cydonia oblonga*) deshidratadas, se analiza térmicamente el sistema y se muestran los resultados del secado de membrillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del secadero

El secadero es del tipo mixto de gabinete, es decir la colección de radiación se realiza tanto en un colector solar previo a la cámara como en la misma cámara y el aire circula por convección natural.

Básicamente el sistema está constituido por dos partes principales: a) el colector – acumulador de calor y b) el gabinete de secado. El primero, está conformado por una platea de piedras graníticas seleccionadas, ubicadas a nivel del suelo y acomodadas de manera de conformar un espesor aproximadamente uniforme. Tiene 10 m de largo y se extiende 1,50 m hacia adelante de la cámara de secado. En su extremo frontal inferior, una abertura de 0,15 m de alto, por toda su longitud permite la entrada del aire desde el exterior, Fig. 1.

El gabinete de secado, ubicado en la parte posterior del colector está sobreelevado 0,80 m del nivel del terreno natural: Tiene 1,20 m de ancho por 10 m de longitud y posee cubierta de plástico transparente. La salida de aire se realiza a través de un ducto trapezoidal de 0,15 m de ancho, 0,50 m de altura y 10 m de largo que hace las veces de una chimenea solar. Al terminar la chimenea, por su pared posterior, presenta una abertura (0,12 mx10 m) por donde sale el aire caliente. Para regular el aire de salida se usan obturaciones que se instalan en el marco superior.

La base del gabinete de secado está construida con una malla de alambre galvanizado colocada dentro de un marco de madera, reforzado por planchuelas de hierro para conferirle mayor rigidez a la superficie de apoyo. Sobre esta malla, se colocan 10 bandejas de 1,20 m de ancho por 1m de largo, cubriendo la longitud del gabinete. Éstas están construida con malla plástica (tipo media sombra) sujeta a un marco de madera.

La estructura del secadero está construida con listones de madera con una forma cuasi-triangular. Los lados inclinados hacia el norte están cubiertos por plástico transparente LDT (150 micrones), mientras que en su pared posterior vertical está cubierta por plástico negro (200 micrones). De esta manera, también la chimenea recibe radiación directa que es colectada por la parte posterior interna, mejorando el efecto chimenea. El producto se coloca sobre las bandejas. El aire pasa a través del colector y entra por la parte inferior de la bandeja circulando por convección natural. Esta circulación del aire se ve mejorado por el tiraje de la chimenea.

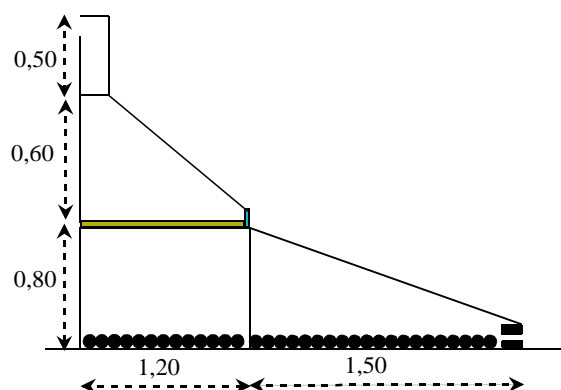


Fig.1. Esquema y vista del secadero solar

Evaluación térmica

Se evaluó el comportamiento térmico del secadero con y sin producto. A tal efecto se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa en distintas partes del secadero. Se utilizaron Data Logger tipo HOBOS inalámbricos con sensores externos “smart sensor” que permiten medir temperaturas en el rango de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, precisión de $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una resolución de $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedades relativas del aire entre 10 - 90 %, precisión de $\pm 2,5\text{ }%$, con una resolución de $0,1\text{ }%$.

La radiación solar se midió sobre plano horizontal e inclinado mediante con piranómetros Kipp & Zonen ($\pm 5\text{ }%$) y las variables meteorológicas se determinaron con una estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia.

Proceso de secado

Se trabajó con membrillos (*Cydonia oblonga*) procedentes de la localidad de Huaycama, departamento Valle Viejo Catamarca.

La cinética de secado, variación de la humedad del material con el tiempo, se siguió mediante muestras representativas del producto. Las mismas se colocaron en distintos lugares de las bandejas y se pesaron dos veces por día. Las muestras se pesaron con una balanza electrónica ($0,1\text{g}$) y el producto con una balanza de plato ($\pm 1\text{g}$).

Se tuvieron en cuenta los contenidos de humedad en base húmeda y en base seca definidos por ecuación 1 y 2, respectivamente (Cytel, 1992):

$$M(bh) = \frac{m - m_s}{m_h} \quad (1)$$

$$X(bs) = \frac{m - m_s}{m_h} \quad (2)$$

donde M es el contenido de humedad en base húmeda (bh), X es el contenido de humedad en base seca (bs), m es la masa del producto en función del tiempo, m_s es la masa de producto seco y m_h la masa húmeda del producto.

Para determinar el contenido inicial de humedad se utilizó el método de pérdida de masa en estufa a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta pesada constante y se calculó con la ecuación (1). Para pesar las muestras antes y después de ser llevadas a estufa se utilizó una balanza analítica Scientech modelo SA 210 (precisión $\pm 0,0001\text{g}$).

Se determinó también la relación de humedad, R_s , definida como la relación entre la masa inicial del producto a secar y masa final del producto secado y la velocidad promedio de secado, ecuación 3., expresada en kg de agua extraídos del producto durante el tiempo de secado, en función de la masa húmeda. Los subíndices i y f se refieren a los momentos inicial y final del secado.

$$v_s = \frac{m_i}{t_s} \left[\frac{M_i - M_f}{100 - M_f} \right]_{bh} \quad (3)$$

Los membrillos fueron cortados en rodajas de 0,5 cm de espesor y no se les realizó ningún pretratamiento.

Curvas de sorción

Los membrillos se seleccionaron mediante muestreo aleatorio simple. Se sometieron a limpieza y se almacenaron en recipientes, a una temperatura de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta su posterior utilización.

Las isotermas 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 membrillos se cortaron en rodajas de 0,5 cm utilizando un cuchillo de hoja de acero inoxidable. Se colocaron en placas enlozadas y se secaron en estufa marca Dalvo (modelo MCM 8) durante tres días a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, registrándose el peso de las muestras hasta obtener peso constante. Las pesadas se realizaron en una balanza analítica con precisión $\pm 0,0001 \text{ g}$.

Posteriormente las muestras, por duplicado, fueron expuestas a atmósferas con diferentes porcentajes de humedad relativa y a una temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. 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 (Comaposada et al., 2000),Tabla 1:

| Sustancias | Humedad relativa (%) |
|---------------------------------|-----------------------------|
| <i>CH₃COOK (KAc)</i> | 23 |
| <i>MgCl₂</i> | 32 |
| <i>NaBr</i> | 57 |
| <i>NaCl</i> | 75 |
| <i>KCl</i> | 84 |
| <i>BaCl₂</i> | 89 |

Tabla 1: Actividades de agua (a_w) de las soluciones salinas a 30 °C

Se pesaron catorce muestras de membrillo en rodajas con una precisión de 0,0001 gy se colocaron dentro de los desecadores sobre discos de porcelana. El registro de masas se realizó cada cinco días, hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas no excedió el 0,2%.Una vez alcanzado el equilibrio másico se determinaron los contenidos de humedad, valores que se tomaron como indicadores de equilibrio de saturación de humedad. Con estos datos se construyeron las correspondientes isothermas de adsorción (García et al, 2007).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La variedad de membrillo utilizada tiene un contenido inicial de humedad de 78%.

Determinación de curva de sorción

En al Fig. 2 se muestran las muestras de membrillo en los desecantes según las diferentes soluciones salinas saturadas.



Fig. 2. Desecadores con muestras de membrillos

En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de ganancia de agua de la muestra, en función del tiempo señalado en cada columna.

| GANANCIA DE AGUA | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
| SAL SATURADA | % HR | Día 0* | Día 1** | Día 5** | Día 10** | Día 15** |
| KAc | 23,00% | 3,3538 | 0,3345 | 1,1457 | 1,6731 | 2,0015 |
| MgCl ₂ | 32,00% | 3,3538 | 2,9847 | 5,8656 | 6,5475 | 6,7328 |
| NaBr | 57,00% | 3,3538 | 8,2948 | 12,9145 | 13,4129 | 12,8711 |
| NaCl | 75,00% | 3,3538 | 18,7211 | 24,6226 | 26,7978 | 27,1193 |
| KCl | 84,00% | 3,3538 | 17,6304 | 30,1108 | 35,4199 | 36,2709 |
| BaCl ₂ | 89,00% | 3,3538 | 22,2131 | 42,7795 | 53,4922 | 59,3440 |

Tabla 2. Valores promedios de adsorción de humedad de las rodajas de membrillo

El valor reportado para el día “cero” corresponde al porcentaje de humedad inicial de la muestra. A partir del día 15 se observó que el peso de las rodajas se mantuvo prácticamente constante ya que la diferencia de pesada con el día 20 resultó menor al 0,2%.

La Fig. 3 muestra la curva de sorción obtenida para el membrillo a la temperatura de 30 ± 2 °C, según los datos de la Tabla 2. Se observa un incremento del contenido de humedad (gr de agua/gr de masa seca), 0,23 a 12,87 (bs) para a_w entre 0,20 a 0,57; un incremento mayor de 12,87 a 27,12 (bs) para a_w entre 0,57 y 0,75 y una disminución del incremento de 27,12 a 36,27 (bs) para a_w entre 0,75 y 0,90. Es decir la curva de sorción es una isoterma tipo II, de forma sigmoideal o tipo S, típica de frutas y vegetales (Cyted, 1992).

De acuerdo a la isoterma de sorción, Fig. 3, se determina que para lograr la estabilidad microbiológica en el membrillo ($a_w < 0,60$) el contenido de agua final del producto debe ser aproximadamente de 13 g de agua por cada 100 g de muestra seca.

Comportamiento térmico del secadero

Los ensayos para la evaluación térmica del secadero en vacío se realizaron durante todo el mes de noviembre. Las aberturas en la parte superior de la chimenea se abrieron para obtener una relación entre área de salida y área de entrada de 0,85.

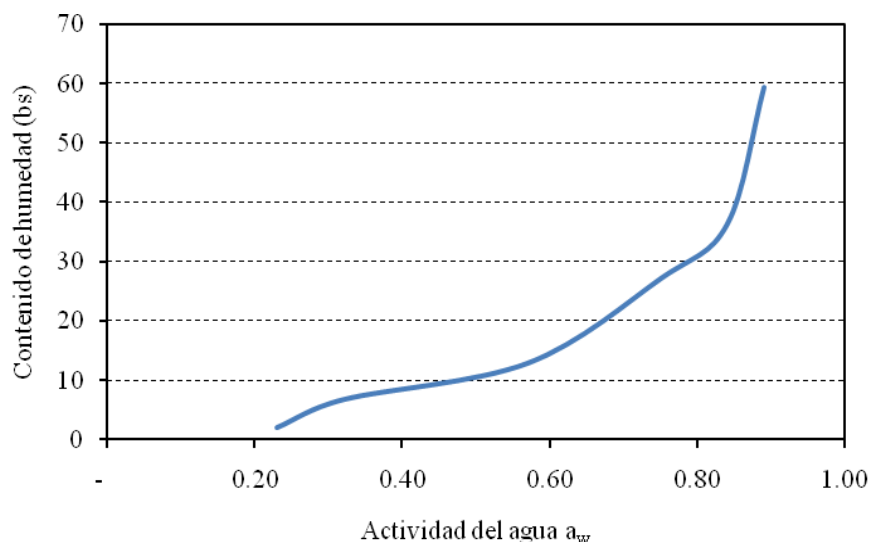


Fig.3. Isoterma de adsorción de rodajas de membrillo deshidratadas a 30 °C

La temperatura promedio sobre bandeja fue de aproximadamente 34 °C y la temperatura máxima de salida de la chimenea fue de 58 °C, con valores promedios de 38 °C aproximadamente. Teóricamente estos valores producen un flujo de aire promedio dentro del secadero del orden de 0,5 kg/s en el periodo de mayor radiación (Iriarte et al, 2010). En la Fig. 4 se muestra la variación de la temperatura del aire a la

salida de la chimenea ($T_{a, chi}$) en contraste con la temperatura ambiente exterior ($T_{a, ext}$) y la radiación solar sobre superficie inclinada en el plano de la cubierta del colector (Rad) durante cinco días del ensayo.

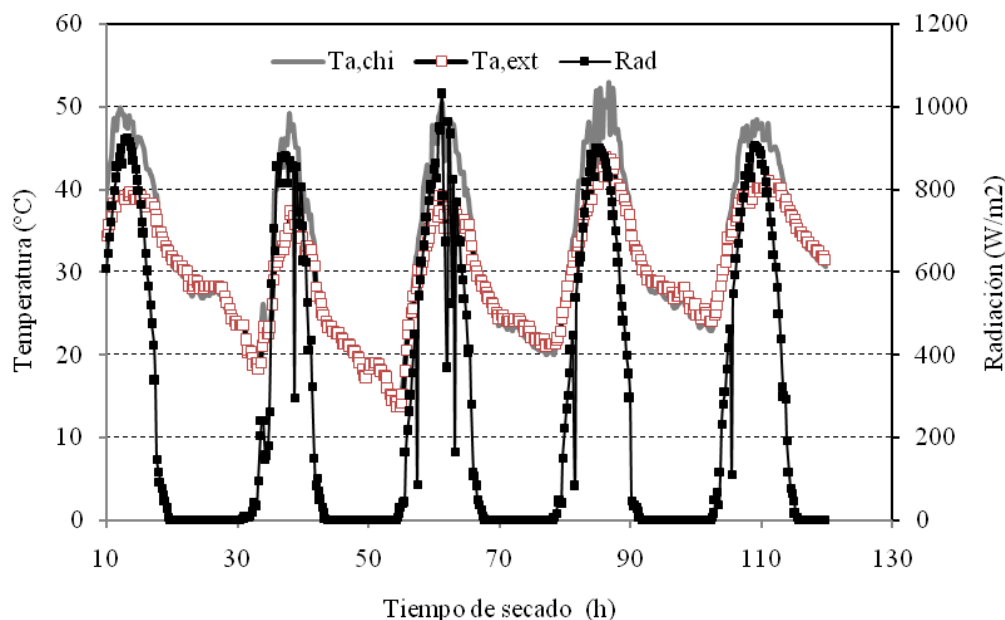


Fig. 4. Distribución de temperatura del aire en el secadero solar durante cinco días

Resultados del secado de membrillo

El secadero se cargó con 94,000 kg de producto fresco cortado en rodajas, obteniéndose 17,500 kg de producto deshidratado. Las rodajas secas de membrillo mostraron una consistencia flexible pero resistente al corte, al momento de retirarlas del secadero y un contenido de humedad final de aproximadamente 15 %. La apariencia de la fruta después del secado fue más oscura la del fruto fresco debido a que no se le aplicó ningún pre tratamiento para evitar el oscurecimiento.

La relación de secado, RS, fue de 5 y la velocidad promedio 2,5 kg/día. La curva de secado se aprecia en la Fig. 5 y la Fig. 6 muestra el secadero cargado con membrillo fresco. La temperatura promedio de secado, durante las horas de sol, fue de 40 °C.

En la Fig.7 se grafican las humedades relativas del aire ambiente y a la salida de la cámara de secado, como así también la irradiancia sobre plano horizontal para los tres primeros días del ensayo. Como se aprecia los dos primeros días de ensayo fueron climáticamente inestables. A pesar de ello durante el segundo día se observa una ganancia en la humedad relativa del aire a la salida de la cámara de secado debido a que el contenido de humedad del producto es alto; mientras que durante el tercer día la diferencia es notable solamente en las horas de máxima irradiancia ya que el producto está prácticamente seco.

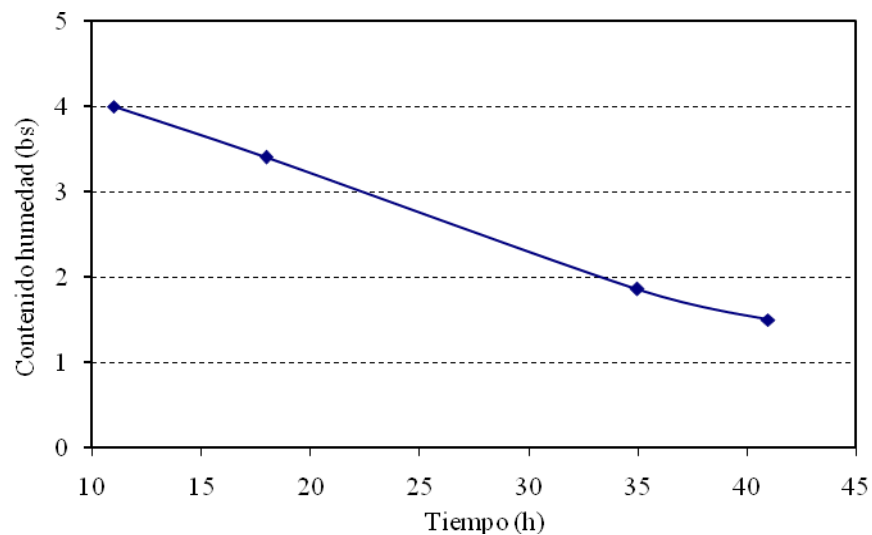


Fig. 5. Curva de secado de rodajas de membrillo



Fig. 6. Secadero cargado con membrillo fresco

Una vez que se retiró el membrillo del secadero se colocó en cajas de cartón, en capas separadas con papel madera, para lograr mejor homogenización del producto en cuanto al contenido de humedad.

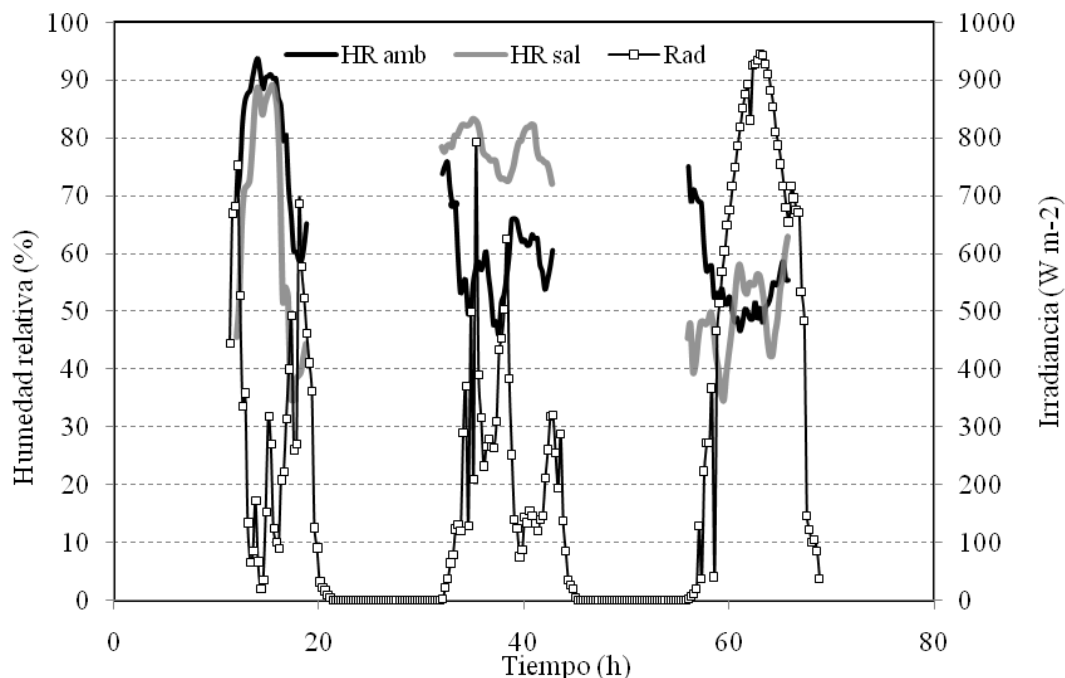


Fig. 7. Humedades relativas del aire ambiente y salida del secadero

CONCLUSIONES

El diseño del secadero tipo tendalero con chimenea resultó ser apto para obtener productos deshidratados.

El secadero es de fácil construcción y de manejo sencillo, lo que permite una rápida adopción por parte de los productores.

En el caso especial del membrillo este procedimiento agrega valor a este producto de interés regional porque permite utilizarlo fuera de la época de cosecha.

Es conveniente realizar algún tipo de pre tratamiento al producto antes del secado para evitar el pardeamiento del mismo y tenga una mayor aceptación por parte del consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ PARMA M., 2006, Síntesis descriptiva del sector Agropecuario Departamento Andalgalá. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo Ministerio de producción y Desarrollo Gobierno de la Provincia de Catamarca, 15-16.

CONDORÍ M., ECHAZÚ R, DURAN G. Y L. SARAVIA, 2008, Secador solar híbrido. Diseño y construcción, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 12,2.37– 2.43.

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

HALLA H., HILAL J., HILAL F.Y R. RAHHAL, 1996, The staircase solar dryer: design and characteristics- Renewable Energy, Vol7, N° 2, 177- 183.

JAIRAJ K. S., SINGH S.P. Y K. SRIKANR, 2009, A review of solar dryers developed for grape drying, Solar Energy 83, 1698- 1712

CYTED, INGENIERÍA DEL SECADO SOLAR, 1992, Editores Corvalan, Horn, Roman y Saravia, Subprograma VI: Nuevas fuentes y conservación de la energía.

GARCÍA, S.V., SCHMALKO, M.E. Y A. TANZARIELLO,2007, Isotermas de adsorción y cinética desecado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones, RIA, 36 (1), 115-129, INTA, Argentina

VEGA GÁLVEZ A., LARA ARAVENA E., LEMUS MONDACA R., 2006, Isotermas de adsorción en harina de maíz (*zeamaysl.*), Ciência. Tecnol. Alimen., Campinas, 26(4): 821-827.

ZHANG, X., XIE LIU, DE-XIANG GU, WEI ZHOU, REN-LI WANG, PEN LIU, 1996, Desorption Isotherms of Some Vegetables. Journal Science Food Agriculture, Vol. 70, N. 3, 303-306

ZUG, J. P. 2002. Fisicoquímica especial. Isoterma de adsorción de tres etapas y modelos de sorción restringida. Ed. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, Argentina, Monografía N° 6.