

## SECADERO SOLAR CON ESTANTES

Silvia Bistoni<sup>1</sup>, Adolfo Iriarte<sup>1,2</sup>, Virginia Fagonde<sup>3</sup> y María Isabel Rodríguez<sup>3</sup>

(1) Grupo de Energías Renovables, INENCO – CONICET, Fac. de Ciencias Agrarias. UNCa

(2) Investigador del CONICET

(3) Estudiante Fac. de Ciencias Agrarias – UNCA.

## SOLAR DRYER WITH SHELVES

### ABSTRACT

In the NOA region, small producers make the drying of agricultural products, such as grapes, figs, apricots, apples, etc. These products have regional value and are an important source of income for the family. The drying is done in a traditional way, i.e. by exposing the product to direct sunlight, which means that they are generally of low quality. The use of some type of solar technology can improve the products' quality without substantially increasing production costs. In this paper a solar dryer, cabinet type, for small producers is described. A thermal evaluation and simulation of the dryer are made, and the drying results for some fruits and vegetables are presented. The results show that the dryer is suitable for drying fruits and vegetables, at family level, as well as the simulation model are adequate.

**Key words:** solar dryer, food dehydration, dryer simulation

### RESUMEN

En la región del NOA, pequeños productores realizan el secado de productos agrícolas, como ser pasa de uva, higos, pelones, orejones de durazno, manzanas, etc. Estos productos tienen valor regional y constituyen una fuente importante de ingresos para el grupo familiar. Al secado lo realizan en forma artesanal, es decir exponiéndolo directamente al sol, lo que implica que los mismos sean, generalmente, de baja calidad. El empleo de algún tipo de tecnología solar podría mejorar la calidad del producto sin incrementar sustancialmente los costos de producción. En el presente trabajo se describe un secadero tipo gabinete para pequeños productores. Se realiza una evaluación térmica del secadero, se simula su comportamiento térmico y se resumen los datos

de secado de algunas frutas y vegetales. Los resultados demuestran que el secadero es apto para utilizarlo con frutas y hortalizas a nivel familiar y que el modelo de simulación adecuado.

**Palabras clave:** secado solar, productos secos, simulación de secadero

## **INTRODUCCIÓN**

En la región del NOA, pequeños productores realizan en forma artesanal el secado de productos agrícolas, como ser pasa de uva, higos, pelones, orejones de durazno, manzanas, etc. Estos productos tienen valor regional y constituyen una fuente importante de ingresos para el grupo familiar.

En la mayoría de los casos, los productores exponen directamente al sol los productos. Debido a esto, los productos no son de óptima calidad ya que las posibilidades de contaminación son grandes, a la vez que se producen importantes pérdidas debido a factores climáticos, como ser lluvia, viento, rocío, etc. Algunos productores, con el objeto de evitar estas pérdidas cubren el producto con plásticos o los colocan en bandejas para poder protegerlos cuando se requiere.

La mejora en la calidad del producto mediante el empleo de alguna tecnología de secado solar, le agregará valor redundando en la economía familiar.

Existen numerosos diseños de secaderos solares adaptables al tipo de producto y al nivel de producción. Hossain y Bala (2007) proponen un secadero túnel para el chile, con convección forzada; Jairaj et al. (2009) presenta una recopilación de diferentes diseños que se han utilizado para el secado de uva; Condorí et al. (2009) presenta un secadero indirecto a nivel industrial para el secado de hortalizas con colectores solares y cámara de secado. Para el secado de pimiento para pimentón en el NOA se han propuestos varios diseños, desde semi industriales a aptos para pequeños productores: secaderos tipo invernaderos (Bistoni et al., 2008), secadero mixtos con cubiertas de plástico (Bistoni et al., 2010), secadero industrial híbrido solar biomasa que permite la producción continua de pimiento desecado (Condorí et al., 2010).

Dentro de la tecnología de secado solar, cuando la capacidad de producción es pequeña, se recomienda el uso de secaderos tipo gabinete. Básicamente están contruidos por una caja de madera con una cubierta transparente y bandejas en su interior donde se coloca el producto. La circulación del aire es por convección natural y a través de orificios. Estos secaderos, si bien son de construcción sencilla, deben estar bien diseñados para favorecer la circulación del aire.

Hallak et al. (1996) proponen un modelo de secadero para pequeños productores agrícolas que es de fácil diseño y permite obtener un producto de buena calidad, reduciendo el tiempo de secado respecto al secado tradicional al sol. Este secadero tiene la forma de una escalera metálica con doble pared de metal galvanizado en su base y lados.

Bistoni et al. (2012) utilizaron un secadero similar al utilizado por Hallak et al. (1996), al cual se le hicieron modificaciones para lograr una adecuada circulación del aire en su interior y se utilizaron materiales que se encuentran en el mercado local. Se presentaron los datos de secado de algunas frutas y vegetales y se analizó el secado de manzana en este secadero.

Otro proceso necesario para obtener un producto de calidad, es la realización de un pretratamiento a los alimentos antes de introducirlos al secadero. Su empleo mejora la textura, el color, sabor, retarda los procesos de pardeamiento y preserva sus nutrientes y vitaminas.

Los pretratamientos más utilizados, por la facilidad de su aplicación y efectividad, son el blanqueado, salado, almibarado, azufrado, inmersión en sulfito, etc. (Brenndorfer et al. 1985).

La aplicación del pretratamiento es variable en cuanto al tiempo de inmersión del producto en la solución, en su concentración, en la temperatura de la solución entre otros. También influye el tipo de producto y ciertos factores como son el estado de madurez y tamaño. Existen normas que deben observarse para la utilización de cierto tipo de reactivos, por ejemplo en los derivados del azufre.

En el presente trabajo se describe el secadero tipo gabinete con estantes escalonados, se presentan datos de secado de algunos productos, datos térmicos y de funcionamiento del secadero durante el proceso de secado y se presenta el modelo de simulación con el ajuste térmico del mismo.

## **MATERIALES Y METODOS**

### *Descripción del secadero*

El secadero es tipo gabinete, con aporte directo de radiación solar. Consta de una caja, de 2 m de largo, por 1 m de ancho y 0,50 m de profundidad, con estructura de hierros "L"; con madera en los laterales y en la base, la que a su vez está aislada y posee una placa colectora. El interior de la caja está pintado de negro e inclinado 45° para favorecer la captación de la radiación solar, Fig. 1.

El secadero está dividido en tres compartimentos, correspondiente a las tres bandejas que posee, Fig. 2. Estas partes están divididas por separadores de policarbonato, colocados en forma vertical respecto a la superficie del suelo. En estos separadores se han realizado tres agujeros de 0,05 m de diámetro cada uno por donde circula el aire.

La cubierta del secadero es de policarbonato alveolar de 6 mm de espesor y dividida en tres partes para facilitar la carga y descarga del producto.

El aire ingresa al secadero por la base a través de una abertura de 0,20 m<sup>2</sup> de área, cubierta por tela “mosquitera” plástica. El aire es obligado a circular por las bandejas a través de los agujeros que se encuentran en los separadores. En la parte superior presenta una chimenea de 1m de longitud y construida con caño de plástico blanco de 0,10 m de diámetro. La circulación del aire es por convección natural, facilitada por la incorporación de la chimenea.

Las bandejas constan de un marco de madera y malla media sombra doble (0,80 %) y van colocadas inclinadas respecto a la superficie horizontal, de manera tal que cuando el secadero está inclinado, las bandejas quedan horizontales.

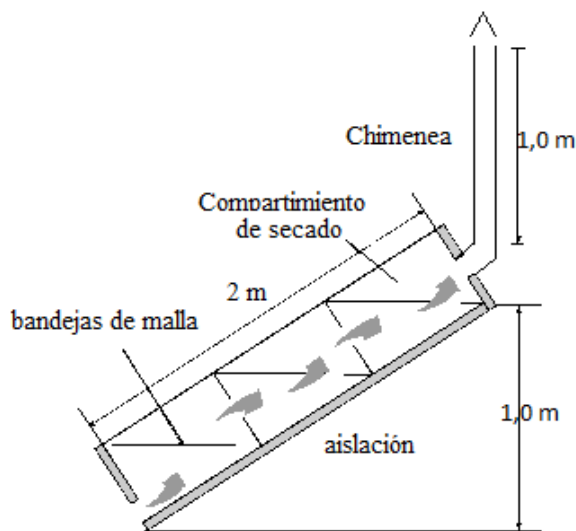


Figura 1. Esquema Secadero



Figura 2. Vista Secadero

#### *Evaluación térmica del secadero*

La evaluación térmica del secadero se realizó, en el mes de noviembre, en dos situaciones: a) en vacío y b) cargado con producto (manzana). Las temperaturas se midieron en distintos lugares del secadero. Se calcularon las entalpías utilizando un diagrama psicométrico a partir de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire, durante los días de secado.

El flujo másico se determinó mediante la ecuación [1]:

$$Q = CA \sqrt{2gH \frac{T_i - T_e}{T_i}} \quad [1]$$

donde Q es el flujo másico ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), A: área de la sección transversal del ducto de la chimenea ( $\text{m}^2$ ), C. coeficiente de descarga, g: aceleración de la gravedad ( $\text{m s}^{-2}$ ), H: altura de la chimenea (m),  $T_i$ : temperatura media del aire (K) y  $T_e$ : temperatura exterior (K).

La eficiencia del secadero se determinó mediante la ecuación [2] que evalúa el funcionamiento térmico del mismo:

$$\eta = \frac{(W_0 - W_f)L_v}{I A_c} \quad [2]$$

$W_0$  es el peso inicial del producto (kg),  $W_f$  es el peso final (kg),  $L_v$  el calor latente de vaporización del agua para la temperatura de salida (kJ/kg), I es la irradiancia durante el tiempo de secado y  $A_c$  es el área de colección.

#### *Secado de productos*

Se utilizaron diferentes productos regionales, a los que se les practicó los pretratamientos adecuados a cada variedad. Las experiencias se realizaron en INTA, EEA Catamarca y en el Centro Demostrativo del INTA, Agencia Belén.

#### *Simulación térmica del secadero*

Para la simulación térmica del secadero se utilizó el circuito eléctrico de la Fig. 3, que resulta de aplicar la analogía que existe entre los fenómenos térmicos y los eléctricos; los procesos de transferencia de calor pueden asociarse a corrientes y a resistencias eléctricas. La radiación solar y el flujo de masa se asocian a fuentes de corrientes y la acumulación térmica se representa mediante condensadores. Los valores de temperatura se representan por fuentes de tensión.

Los nodos del circuito se colocaron en: en ambiente exterior (a); en cubierta (c); en aire sobre bandeja (s); bandeja (b); producto (p); aire debajo bandeja (d); chapa de hierro (ch); estructura de madera (m).

Para el secadero se consideraron los siguientes procesos de transferencia de calor:

- a. Radiación solar incidente sobre cubierta (RadiC), en el producto sobre bandeja (RadiP) y sobre chapa de hierro (RadiCh)
- b. Fenómenos convectivos entre: cubierta – aire exterior ( $R_{ext}$ ); aire – cubierta ( $R_{a,1}$ ); aire – producto ( $R_{a,2}$ ); aire sobre producto – producto ( $R_p$ ); bandeja – aire debajo de bandeja ( $R_{a,3}$ ); aire debajo bandeja - chapa de hierro ( $R_{a,4}$ ); estructura de madera – ambiente exterior ( $R_{a-amb}$ ).
- c. Intercambio radiativo infrarrojo entre cubierta – ambiente exterior ( $R_1$ ).
- d. Fenómenos conductivos: se considera una conducción global a través de la aislación ( $R_{ais}$ ) y la estructura de madera ( $R_{mad}$ ).

Para el flujo de aire se consideraron con las siguientes fuentes de corrientes: ingreso del flujo de aire al secadero ( $J_e$ ); flujo de aire alrededor de producto, responsable del secado ( $J_p$ ); flujo de aire que sale del secadero ( $J_s$ ).

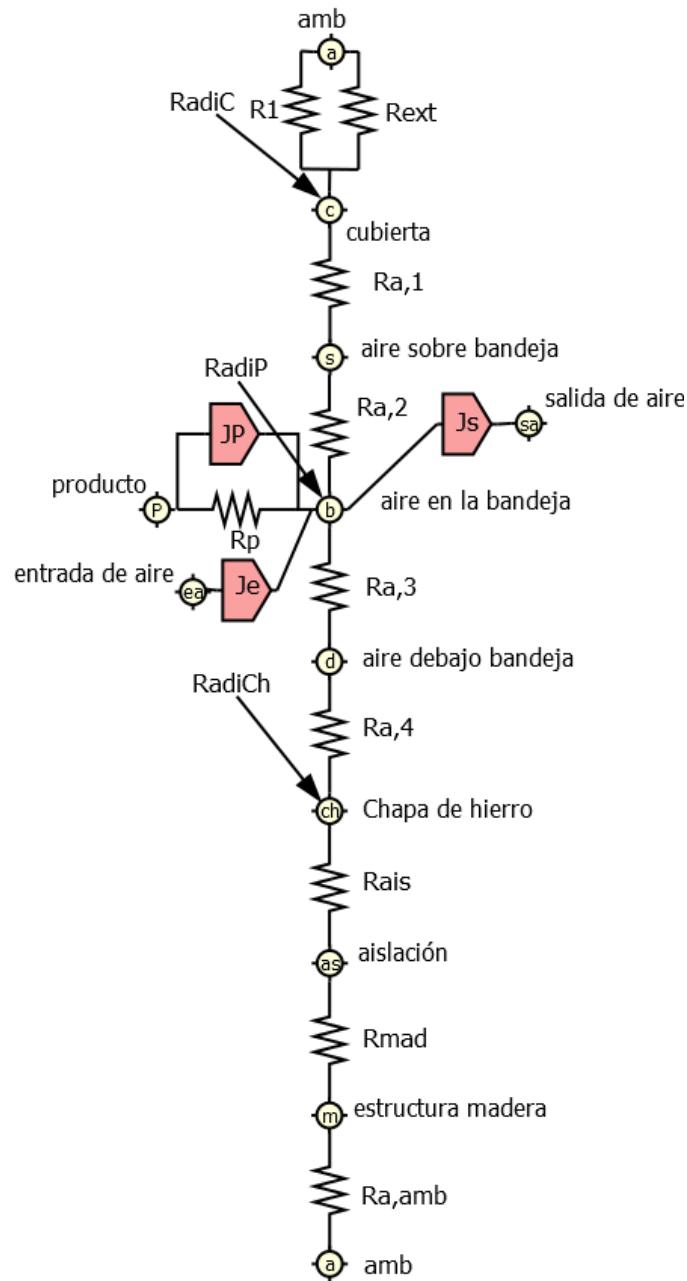


Fig.3. Esquema del circuito análogo

**RESULTADOS**

*Evaluación térmica*

Para el secadero vacío, entre las 13 horas y las 16 horas, la temperatura en el compartimento superior alcanzó los 80 °C, la del compartimento del medio aproximadamente 70 °C y el inferior 65 °C, para una irradiación diaria de 23,6 MJ/m<sup>2</sup>. Mientras que estos valores de temperatura descendieron con el secadero cargado, dado que el aire al aumentar la humedad disminuye su

temperatura. En la Fig. 4 se muestra las variaciones de temperaturas en los compartimentos superior e inferior en esta situación para los dos días que duró el secado.

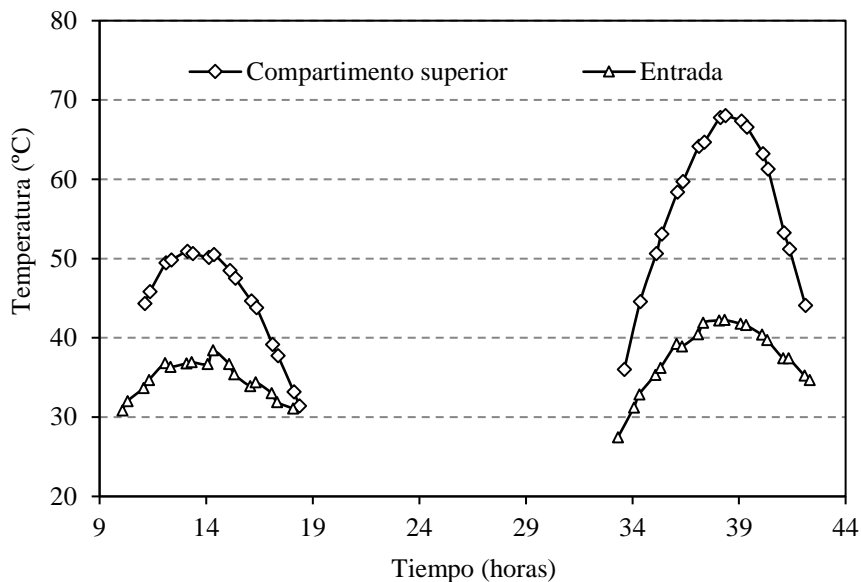


Fig. 4. Variación de temperatura en los compartimentos del secadero cargado

Durante el primer día, al comienzo del proceso de secado, no se observa una marcada diferencia entre las temperaturas de los compartimentos. En ese momento el contenido de humedad del producto es alto y debido al enfriamiento por evaporación en la superficie del producto, la temperatura del aire es similar en los distintos partes del secadero. Cuando la cantidad de energía requerida para la evaporación del agua del producto es menor, la temperatura del aire en el secadero aumenta (2do. día).

El caudal de aire dentro del secadero fue de  $5 \text{ m}^3/\text{min}$ , valor razonable para permitir la extracción de la humedad del producto. La entalpía del aire a la entrada del colector para los días de secado fue de aproximadamente  $60 \text{ kJ/kg}$ , mientras que la entapía del aire a la salida, a las 12 horas fue de  $140 \text{ kJ/kg}$  para el primer día, con una irradiación  $23,7 \text{ MJ/m}^2$  y de  $130 \text{ kJ/kg}$  (irradiación  $25,3 \text{ MJ/m}^2$ ).

En la Tabla 1 se resumen las características térmicas del secadero durante su evaluación.



<b>Producto: manzana tipo comercial</b>	
Contenido inicial de humedad (% bh)	85,4
<b>DATOS METEREOLÓGICOS</b>	
Irradiación global sobre plano de colector (MJ/m <sup>2</sup> )	
Día 1	27.2
Día 2	27.6
Temperatura ambiente promedio (°C)	
Día 1	31.1
Día 2	27.5
Humedad relativa ambiente promedio (%)	
Día 1	25
Día 2	23
<b>PARÁMETROS</b>	
Cantidad de producto cargado (kg)	10.44
Densidad de carga ( kg/m <sup>2</sup> de apertura solar)	5.22
Superficie de colección (m <sup>2</sup> )	2
Inclinación del colector ( °)	30
Apertura solar ( m <sup>2</sup> )	2
Superficie total de bandejas (m <sup>2</sup> )	1.5
Flujo de aire ( m <sup>3</sup> /min)	5
Tiempo de secado hasta contenido de humedad 10 %, incluyendo la noche (h)	38
Eficiencia de secado (%)	20
Eficiencia de colector solar (%)	46
Temperatura promedio del aire a la salida (°C)	
Día 1	36.40
Día 2	34.81
HR promedio del aire a la salida (%)	
Día 1	44
Día 2	40
Temperatura máxima secadero sin cargar (°C)	80
Temperatura máxima secadero con carga (°C )	68
Duración de la temperatura del aire en 10 °C sobre el ambiente sin carga (h)	10
Calidad del producto	MB
Facilidad de carga / descarga (0-10)	10
Costo del secadero ( U\$S)	300

**Tabla N° 1: Características térmicas del secadero**

#### *Simulación térmica del secadero*

Para utilizar el programa SIMUSOL y ajustar con mayor precisión el prototipo, se dividió el secadero longitudinalmente en 3 partes iguales. Por razones de espacio solo se muestra en la Fig. 3 un solo circuito, siendo los otros, desde el punto de vista térmico, similares.

El ajuste del modelo de SIMUSOL se realizó con datos experimentales del ensayo de secado de manzana. Se realizó un ajuste del modelo usando los coeficientes convectivos, conductivos y radiactivos calculados teniendo en cuenta las propiedades físicas y térmicas de cada uno de los

materiales que se utilizaron para su construcción.

Se utilizaron como datos de entrada al programa SIMUSOL los valores experimentales de temperatura del aire a la entrada y la radiación obtenida sobre superficie horizontal del prototipo, siendo las variables de ajustes los coeficientes de absorción de la radiación en las cubiertas, producto y placa colectora. El ajuste se realizó comparando las temperaturas simuladas y experimentales del aire a la salida del secadero.

En la Fig. 5 se muestra la variación de la temperatura del aire a la entrada del secadero  $[T_{a,eS}]$  y aire salida del secadero  $[T_{a,sS}]$  experimentales, la ajustada con el modelo  $[T_{a,sS\_simulada}]$  y la radiación sobre superficie horizontal. Del análisis de los datos se obtiene que la desviación entre los datos experimentales y simulados, en promedio fue de  $0,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un error relativo respecto al valor experimental de  $1,2\%$ , para los dos días de secado.

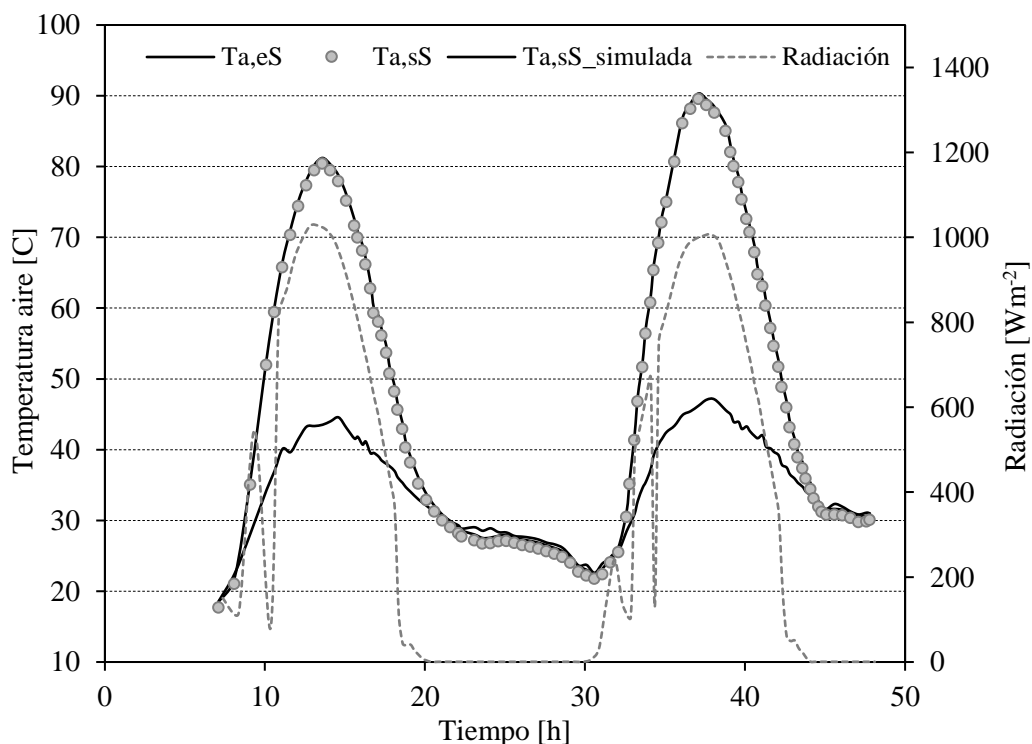


Fig. 5. Ajuste de la temperatura del aire a la salida del secadero mediante el modelo térmico – eléctrico

#### *Secado de productos*

Durante el verano y el otoño, se utilizó el secadero para secar frutas y hortalizas. En la Tabla 2 se muestran los distintos productos, con los pretratamientos o cortes realizados, el tiempo de secado y algunas observaciones pertinentes a la apariencia final del producto.

Producto	Contenido Inicial de humedad (%)	Tiempo secado (días)	Cortes	Pre-tratamiento	Mes de secado/ Localidad	Observaciones
Manzana Red delicious	84 %	2	Sin pelar. En rodajas de 5 mm de espesor.	Inmersión en metabisulfito 0,3 % durante 15 minutos	Nov. V. Viejo	Tmax: 72 °C No se observa pardeamiento
Manzana roja	68%	1 1/2	Peladas, se extrajo el corazón con sacabocado. Rodajas de 1cm.	Inmersión en ácido cítrico: 1,2 % durante 15 minutos	Marzo Belén	Tmax 35 °C No se observa pardeamiento
Membrillo	61%	1 1/2	Ídem manzana anterior		Marzo Valle Viejo	Tmax 35 °C No se observa pardeamiento
Cereza	75%	2	Con semilla		Dic. Belén	Tmax 35 – 40 °C
Ciruela	83%	2	Sin semillas		Dic. Belén	Tmax 35 – 40 °C
Ciruela	83 %	3	Con semilla		Dic. Belén	Tmax 35 – 40 °C
Durazno	80%	2 1/2	Con semilla		Feb. Belén	Tmax 35 – 40 °C
Anquito	84%	1 a 1 1/2	Cortes finos de 3 a 5 mm en daditos y juliana.	Escaldado en agua hirviendo 1 minuto	Abril Belén	Tmax 30 – 32 °C Color y olor intensos
Zanahoria	73%	1	Cortes finos de 3 a 5 mm en rodajas y juliana.	Escaldado en agua por un minuto	Abril Belén	Tmax 30-32 °C Color y olor intensos.
Cebolla	91%	2	Cortes de 1 cm en rodajas.		Abril Belén	Tmax 30 °C Colores claros, olor intenso
Ajo	35 65%	5	Ajo entero sin sus catafilas de protección.		Enero Belén Marzo V. Viejo	Tmax 43 °C Color caramelo. Olor intenso.
Pimiento morrón	94%	2	Cortes de 1, 5 cm. Sin semillas.		Marzo Belén	Tmax 30 - 35 °C. Se observó exceso de calor por la coloración producto final (caramelización de azúcares). Pero de excelente aroma y sabor.
Tomate redondo	92%	1 1/2	Cortes en rodajas con semillas. Sin tratamiento.		Enero Belén Marzo V. Viejo	Tmax 43 °C - 45°C. Color y olor intensos
Tomate perita	91%	2	Cortes por mitades con semillas.		Enero Belén Marzo V. Viejo	Color y olor intensos
Zapallito verde de tronco	90%	2	Cortes en rodajas de 1 cm con semilla y cáscara		Enero Belén	Se observa que la semilla y la cáscara habría que eliminarlas previo al secado porque dificulta la rehidratación para la elaboración de comidas.
Pimiento pimentonero	72%	2 1/2	Entero		Marzo La Rioja Chilecito	Temp Max: 73 °C Pimentón: color intenso

\*Fuente Secadero solar tipo gabinete con estantes escalonados, *Libro de Actas, VIII Jornadas de Ciencia y tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, 2012*

**Tabla 2. Productos frutales y hortícolas y pretratamientos aplicados**

En general los productos llegaron al 20 % de su masa inicial entre 1 y 3 días aproximadamente. En la Fig. 6 se muestra una foto del secadero cargado con manzana y en la Fig. 7. el producto obtenido.



Fig. 6. Vista del secadero con manzanas



Fig. 7. Vista de la manzana seca

## CONCLUSIONES

El secadero propuesto cumple con las expectativas de grupos familiares que tienen como medio de vida la venta de productos hortícolas y frutícolas desecados. Permite secar gran variedad de productos agrícolas siendo ésta una de las características de los pequeños productores que no se dedican a un cultivo único.

Si bien el secadero permite una carga no superior a los 20 kilos, dependiendo del tipo de producto, el tiempo en que se obtiene el producto final está entre uno y tres días, lo que permite que la producción pueda dividirse en etapas para ser secada. Como en cada compartimento la temperatura es diferente, es posible seleccionar de acuerdo al producto, la ubicación de la bandeja, evitándose así la cocción del mismo.

En cuanto a los pretratamientos se puede decir que son aconsejables para obtener un producto de buena calidad, a la vez que permiten disminuir el tiempo de secado.

Al ser un diseño sencillo, el manejo del secadero es fácil, lo que implica que la apropiación de esta tecnología por parte del productor es segura, además de ser bajos los costos de construcción.

El modelo empleado para la simulación térmica resultó adecuado y representa el comportamiento térmico del secadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Brenndorfer B., Kennedy L., Oswin Bateman C., Trim D., Mirema G. & C. Wereko- Brobby (1985):** *Solar Dryers – their role in post-harvest processing*, Commonwealth science council.
- **Bistoni S., Iriarte A., García V. & M. Watkins (2008):** Estudio de un ensayo de secado de tomate en secadero solar indirecto, *Investigaciones en Facultades de ingeniería del NOA*, CODINOA, Vol. 2, pp. 55- 60.
- **Bistoni S., Iriarte A., Luque V. & S. Gómez (2010):** Evaluación del comportamiento de un secador solar mixto para pequeños productores, *Investigaciones en Facultades de ingeniería del NOA*, CODINOA, Vol 2, 295- 300, 2010.
- **Bistoni S., Villafañez A., Furque V., Torchan S., Luna R., Iriarte A., Luque V. & V. García (2012):** Secadero solar tipo gabinete con estantes escalonados, *Libro de Actas, VIII Jornadas de Ciencia y tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, CD*, Tucumán, 2012.
- **Condorí M., Durán G., Vargas D. & R. Echazú (2009):** Secador solar híbrido. Primeros ensayos, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 13, pp 02.35- 02.42.
- **Condorí M., Durán G., Echazú R. & G. Diaz Russo (2010):**, Secador industrial híbrido solar- biomasa para la producción continua de pimienta deshidratada, *Energías Renovables y medio ambiente*, Vol 25, pp 81-92.
- **Hallak H., Hilal J., Hilal F. & R. Rahhal (1996):** The staircase solar dryer: design and characteristics, *Renewable Energy*, Pergamon, Vol. 7, N° 2, pp. 177-183.
- **Hossain M.A., & B.K Bala (2007):** Drying of hot chilli using solar tunnel drier, *Solar Energy*, Elsevier, Vol 81, pp 85-92.
- **Jairaj K.S., Singh S.P. & K. Srikant (2009):** A review of solar dryers developed for grape drying, *Solar Energy*, Elsevier, Vol 83, pp. 1698-1712.
- **Saravia L., Arata A., Horn M., Sinicio R., Beltran R., & R. Corvalán (1992):** *Ingeniería del secado solar*, CYTED, 1992.