

## **SECADERO SOLAR PARA FRUTAS: ESTUDIO DE CASO**

M. Pontin, A. Lema, R. Ritta, A. Sanmartino, M. Ghirardotto  
Grupo de Energía Solar – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Río Cuarto  
Ruta Nacional 36 Km. 601 – CP: 5800 – Río Cuarto, Argentina  
Tel – Fax: (0-54-358) 467-6246 – Email: (mpontin, alema)@ing.unrc.edu.ar

**RESUMEN:** En este trabajo se describe una experiencia de deshidratación de manzanas en un secadero solar indirecto tipo gabinete. Este consta de una cabina de secado formada por una estructura de madera recubierta en polietileno negro y un colector solar constituido por una manga de polietileno negro dentro de una cubierta de polietileno transparente. Las manzanas se distribuyeron regularmente en tres bandejas manteniéndose una bandeja a la intemperie. Para el monitoreo de las experiencias se relevaron datos de temperatura, radiación solar y humedad. Se muestran curvas de radiación, temperaturas y humedades obtenidas durante los días de secado. Se concluye que el secadero muestra un desempeño aceptable.

**Palabras Clave:** secado solar, secado de frutas.

### **INTRODUCCIÓN**

El proceso de secado consiste esencialmente en evaporar la mayor parte del contenido acuoso almacenado de manera natural en el producto, en el caso de las frutas y verduras, estas pasan en general, de un contenido próximo al 80% de agua a algo menos del 25%. Para lograr esto se requiere energía y existen numerosos métodos que difieren entre sí respecto a la fuente utilizada para proporcionar el calor de vaporización y a la geometría de los dispositivos utilizados.

En el caso de las frutas en general, el valor agregado que le aporta el secado es cercano al 30%, por lo que el costo del proceso juega un papel fundamental. Se hace imprescindible entonces, una tecnología que permita reducir los costos de operación si se quiere obtener una ganancia neta aceptable.

La deshidratación con energía solar constituye una de las formas más económicas de secar ya que utiliza la fuente más barata de energía que es el sol. Este tipo de secado ha sido utilizado por el hombre desde tiempos muy remotos, siendo la práctica más común el exponer el producto directamente al sol. Si bien esta técnica se sigue desarrollando en la actualidad, tiene numerosas desventajas: tiene altos riesgos de contaminación por polvo, pájaros, roedores y otros animales e insectos, puede mojarse por lluvias, etc. con la desventaja adicional que el secado directo cambia los colores naturales de los productos alimenticios sin procesar, haciéndolos indeseables para algunos consumidores. Además, resulta en pérdidas excesivas de carotenoides debido a su vulnerabilidad a la luz ultra violeta y visible y altas temperaturas (Clydesdale, 1991). El uso de una secadora con un dispositivo solar evita estos inconvenientes.

Los secaderos solares pueden ser clasificados en dos tipos principales, según cómo ellos transfieren la energía solar incidente al producto a secar, esto es, secado directo o indirecto, pudiéndose combinar ambos procedimientos. Su característica principal es la alta calidad del producto obtenido, ya que el secado se realiza a temperaturas moderadas, comparadas con las utilizadas en el secado convencional (Corvalán et al., 2000). La evaluación del producto obtenido del secado solar indica que en la mayoría de los casos la retención de las propiedades físicas, sabor y las vitaminas A y C son tan buenas o mejores que las obtenidas con métodos convencionales de secado (López Martínez y Pérez Hernández, 2000; Bolin y Salunkhe, 1982).

La utilización de tecnología simple y no contaminante es otra de sus características distintivas (Pangavhane et al., 2002; Sogari y Busso, 1999). Así, la técnica de secado solar de frutas y productos hortícolas en general, constituye una alternativa interesante para el desarrollo de pequeños y medianos productores, permitiendo una mejor comercialización de su producción al incorporar tecnología no compleja y de bajo costo (Passamai et al., 2004). Sin embargo, este tipo de instalaciones deben poder funcionar aún cuando las condiciones climáticas no lo permitan por lo que deben estar provistas con una fuente de calefacción alternativa a la solar.

En este trabajo se describe una experiencia de deshidratación artesanal de manzanas utilizando un secadero indirecto tipo gabinete de bajo costo, construido por nuestro grupo de trabajo en la Ciudad de Río Cuarto en el mes de agosto del año 2005.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### *Descripción del secadero.*

El secadero indirecto de tipo gabinete, consta básicamente de una cabina de secado y un colector solar (figura 1). La cabina de secado consiste en una estructura de madera de 1.00 m de altura, sobre la cual se montó una cubierta de polietileno negro

de 150  $\mu\text{m}$  de espesor, para evitar el deterioro del producto por la radiación solar (Ndawula et al., 2004). En su interior se ubicaron tres bandejas de malla fina de acero inoxidable, de 0.80 m x 1.00 m, separadas entre ellas 0.25 m, sobre las cuales se dispuso el producto a secar. La posición de estas bandejas es regulable.

El gabinete de secado se diseñó con un sistema de apertura del secadero que permite acceder solamente a una bandeja por vez. Esto permite disminuir significativamente las pérdidas calóricas del secadero durante la experimentación (toma de muestra para evaluar la humedad del producto).

El aire caliente entra por la parte inferior delantera del gabinete a través de una abertura de 15 cm de diámetro y puede provenir, dependiendo de la radiación disponible, de un caloventor (figura 1 a.) o de un colector solar (figura 1 b.) cualquiera de ellos situado a la entrada de la cámara de secado. En el secador de bandejas el aire circula en flujo cruzado, esto es, flujo longitudinal a lo largo del secadero y flujo ascendente a través de las bandejas, finalmente sale por la chimenea.

La selección de manzanas como producto a secar, responde a varias razones. Una de las principales es que las manzanas secas constituyen un alimento muy recomendable. Poseen un alto valor nutritivo y si bien al deshidratarse pierden parte de él como el caso de sus vitaminas A y C, el resto de sus nutrientes quedan intactos como su alto contenido de fibras y minerales (hierro y potasio) e incluso algunos aumentan su composición, como el azúcar. Otras razones para su elección son su alto contenido de humedad que facilita el seguimiento del proceso de secado, su susceptibilidad al pardeamiento y pérdida de propiedades organolépticas lo cual lo hace un producto adecuado para testear el buen desempeño del secadero, su bajo costo y fácil adquisición.

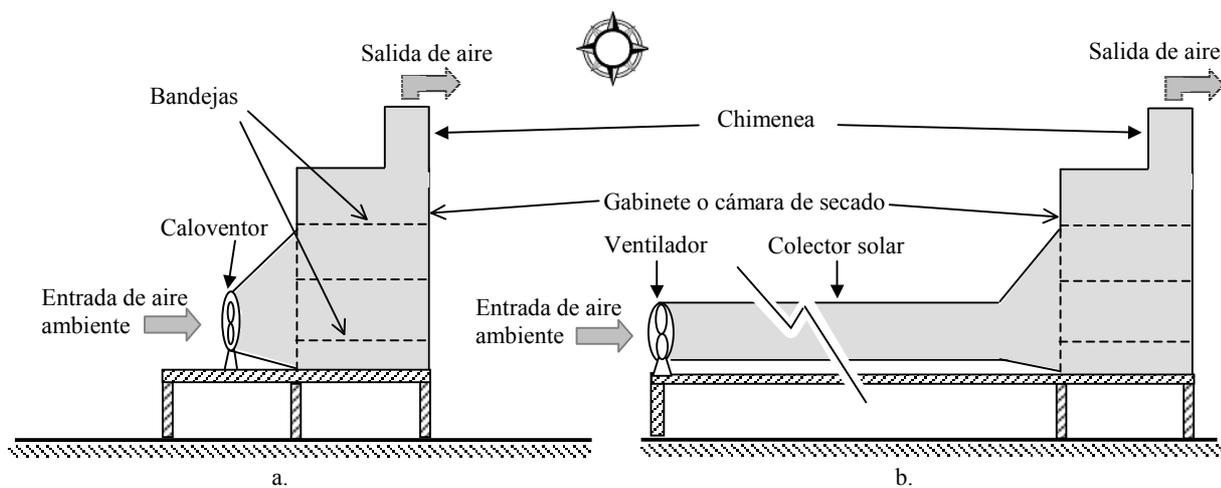


Figura 1: Esquema del secadero. a. Calefacción convencional. b. Calefacción solar

Una fotografía del sistema secadero-colector de aire se muestra en la figura 2 a. mientras que la 2 b. presenta la correspondiente al sistema secadero-calventor.



Figura 2: a. Sistema secadero-colector de aire b. Sistema secadero-calventor

#### *Descripción del colector solar.*

El sistema físico consta básicamente de una manga cilíndrica formada por dos tubos concéntricos, un tubo interior de polietileno negro y una cubierta exterior de polietileno transparente.

La manga de polietileno negro (150 micrones de espesor) constituye la superficie absorbidora. Tiene 30 cm de radio y 6 m de largo. En su parte exterior lo recubre una cubierta de polietileno transparente UVLDT de 100 micrones, 40 cm de radio y 6 m de longitud. Esta cubierta permite que durante la operación entre las dos superficies plásticas se genere una cámara de aire estanco, cumpliendo esta la función de aislante térmico, debido a la baja conductividad térmica del aire, disminuyendo además los efectos del viento. El aire es insuflado a través del colector solar por medio de un ventilador que se encuentra en la entrada de la manga y que toma aire del ambiente. La salida del aire caliente se realiza a través de un tubo de 15 cm de diámetro. El caudal de aire provisto por el ventilador es aproximadamente de 0.05 m<sup>3</sup>/s. Todo el sistema se representa en la figura 1b anterior. Cabe aclarar que el rendimiento de este tipo de colector solar se mantiene en valores que no superan al 30% (Lema et al., 2003), teniendo a su favor el bajo costo de materiales y su facilidad de construcción y mantenimiento.

En la experiencia el colector se orientó con la entrada de aire hacia el norte, sobre un plano horizontal. La temperatura del aire a la entrada y a la salida, fue registrada en forma automática mediante un termómetro digital (TES RS 232 datalogger) que utiliza termocuplas tipo K. Las variables meteorológicas se midieron mediante una estación meteorológica, que registra temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, etc., mientras que la radiación solar incidente sobre superficie horizontal se registró mediante un piranómetro marca ECO conectado a un sistema de adquisición de datos. La velocidad del aire a la entrada del motoventilador se midió con un medidor de flujo de paletas.

#### *Desarrollo de la experiencia.*

Se seleccionaron manzanas tipo Red Delicious las que se lavaron y cortaron en rodajas habiéndoseles extraído previamente el pedúnculo, corazón y semillas. Se utilizó un dispositivo que permitiera mantener un grosor uniforme de aproximadamente 0.5 cm. Además, se seleccionaron solamente las rebanadas centrales de manera de mantener diámetros uniformes de 9 cm en promedio y por consiguiente rodajas de 20 g aproximadamente con el fin de favorecer la comparación de resultados.

La cabina fue cargada con las tres bandejas como se muestra en la figura 1 anterior. Las rodajas se distribuyeron uniformemente sobre las bandejas en seis filas y ocho columnas, ubicadas estas últimas con una orientación N-S. Una cuarta bandeja de idénticas dimensiones y disposición fue colocada a la intemperie para ser utilizada como testigo en la comparación del desempeño del secado solar con el secado convencional al aire.

Para evaluar la pérdida de humedad de las manzanas, se pesaron las rodajas de las cuatro bandejas correspondientes a las filas 1, 3 y 6, y a las columnas 1, 4 y 8; en intervalos de una hora durante el primer día y de dos horas en el segundo y tercer día utilizando una balanza de precisión OHAUS. Finalmente la masa seca se determinó utilizando el Método por Secado (estufa a 105-110°C hasta peso constante, lográndose en aproximadamente 24 horas).

La experiencia de secado, transcurrió durante tres días, entre las 12:00 y las 18:00 horas, para el primer día y entre las 11:00 y las 18:00 horas para el segundo y tercer día. El sistema de secado ensayado estuvo constituido por la secadora, el colector solar y eventualmente un caloventor. En el primer día de la experiencia el aire de secado fue suministrado por el colector solar de bajo costo descrito anteriormente, mientras que en los dos días siguientes el aire fue calentado mediante un caloventor. La baja disminución de la humedad obtenida durante el primer día requirió de la utilización del caloventor de modo de aumentar la energía disponible para el secado, teniendo en cuenta que la deshidratación se hace más difícil conforme las humedades remanentes son menores. Durante la noche, las bandejas eran llevadas al interior del laboratorio del Grupo de Energía Solar y las rodajas de manzanas eran pesadas en su totalidad. Al día siguiente, antes de ser incorporadas en el secador, las manzanas eran nuevamente pesadas.

El caudal de aire de secado utilizado durante el secado para el primer día fue de aproximadamente 0.05 m<sup>3</sup>/s, mientras que el segundo y tercer día fue de 0.025 m<sup>3</sup>/s.

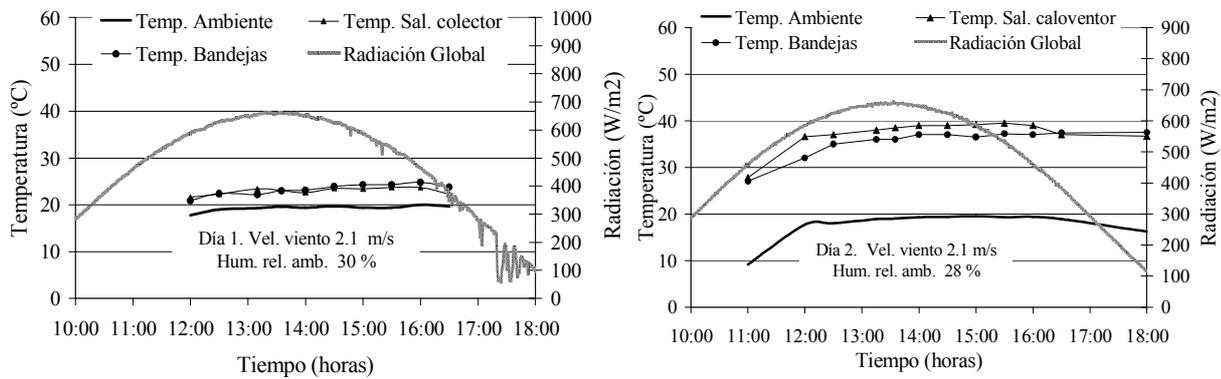
Se determinaron valores de temperatura y humedad del aire dentro y fuera de la cámara de secado durante los tres días. Las mediciones de temperaturas se registraron mediante dos termómetros digitales con dos entradas cada uno, (TES RS 232 datalogger) provistos de termocuplas tipo K envainadas, colocadas una fuera del secadero para medir temperatura ambiente y las tres restantes en cada una de las tres bandejas. Para medir la humedad relativa del aire de secado, se utilizó un higrómetro marca ALNOR Compufflow Modelo 8575. Los datos del higrómetro se apuntaron manualmente, mientras que las temperaturas se registraron en forma automática y se volcaron en un ordenador con un software específico de la marca de los termómetros.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El comportamiento del secadero se describe a partir de la evolución de la humedad de las manzanas en el tiempo. A continuación se presentan los resultados más representativos.

A los fines de tener presente las características climáticas de cada uno de los días en que se desarrolló la experiencia, se presenta en las figuras 3, 4 y 5 con información relativa a la radiación global sobre plano horizontal, temperatura ambiente, velocidad promedio del viento y humedad relativa ambiente promedio. También se muestran la temperatura del aire de secado (salida del colector o caloventor) y la temperatura promedio en las bandejas.

En las figuras antes mencionadas se observa que la temperatura del aire de secado durante el primer día fue baja debido a las limitaciones que presenta este tipo de colector (rendimiento inferior al 30%), en días con velocidades de viento considerables (mayores a 1m/s) donde las pérdidas convectivas son más importantes. Para los días siguientes la presencia del calorventor permitió trabajar con temperaturas del aire de secado ampliamente superiores. Se observa también que los dos primeros días correspondieron a días despejados. El tercer día estuvo cubierto hasta prácticamente el medio día solar (13:25 hs).



Figuras 3 y 4: Distribución de temperaturas y radiación para los días 1 y 2 respectivamente

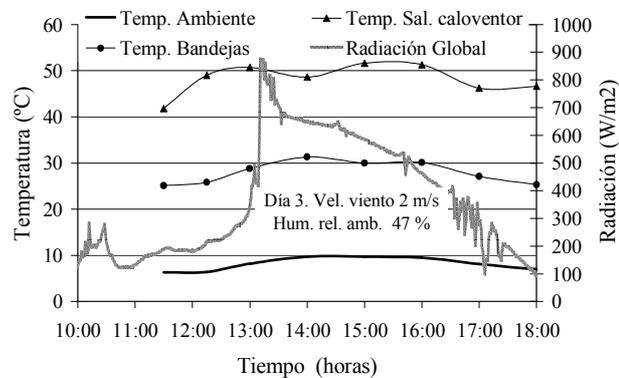


Figura 5: Distribución de temperaturas y radiación para el día 3

La evolución de la humedad de las manzanas utilizadas en la experiencia, durante los tres días de secado, se presenta en la figura 6, de acuerdo a la ubicación de las bandejas, esto es interiores al secadero, A, B y C, como así también la que se expuso al aire ambiente, bandeja D. Se evaluó un promedio de los datos disponibles por bandejas.

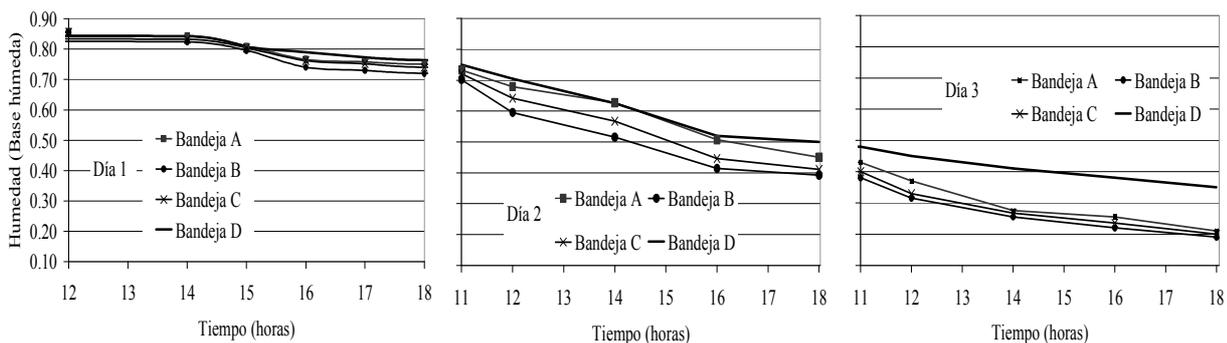


Figura 6: Evolución de la humedad de las manzanas en las bandejas para los tres días

Se observa en la figura 6, que durante el primer día de secado las manzanas de las tres bandejas interiores al secadero presentan una evolución de secado similar, tendencia que se mantiene para los días siguientes. La bandeja expuesta al aire ambiente, el primer día presenta también un comportamiento similar a las otras bandejas, no así los días restantes. Es posible evaluar a través de la figura 3 que para el primer día las condiciones de secado no presentan ventajas considerables frente a la exposición a la intemperie, esto es, la temperatura del aire de secado es sólo 5°C mayor y esta desventaja es compensada por la exposición directa a la radiación solar. La velocidad del aire de secado es semejante en ambas situaciones.

Si bien la primera etapa de secado es la que en el caso de las frutas, ofrece menor dificultad, en nuestra experiencia fue pobre debido a la escasa energía ofrecida por el aire de secado. Durante el segundo día la humedad se reduce significativamente y el tercer día la pérdida de humedad disminuye debido a la dificultad de extraer las últimas porciones de humedad del producto. En particular, la bandeja A sufre una mayor disminución durante todo el secado correspondiéndose con las mayores

temperaturas alcanzadas por esta bandeja, sin embargo, dicho comportamiento no es tan notorio durante el tercer día debido a que la humedad del producto es menor y es más difícil eliminar la humedad remanente del mismo. Finalmente, la distribución de la humedad en función de su ubicación dentro de una misma bandeja se presenta en la figura 7 para tres columnas representativas.

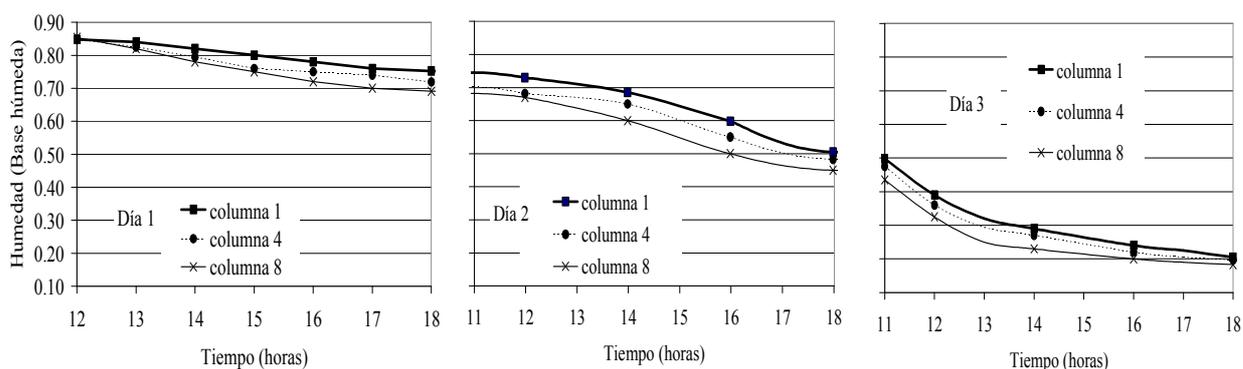


Figura 7: Evolución de la humedad de las manzanas para tres columnas de la bandeja B durante los tres días

En la figura 7, se observa que el comportamiento de las diferentes columnas de una bandeja no es semejante. La columna 8, ubicada hacia el lado oeste, presenta una disminución de la humedad superior en relación a la columna 4, ubicada en el centro y más aún que la columna 1 ubicada hacia el este. Esto significa que se detecta un gradiente de humedad creciente en el sentido Oeste-Este, debido a que el lado oeste recibe más horas de sol, teniendo en cuenta el período de secado para cada día. Esta tendencia disminuye a medida que aumenta la temperatura del aire de secado y disminuye la humedad del producto.

Finalmente cabe destacar que la evolución de la temperatura de las diferentes bandejas fue prácticamente la misma. Las bandejas B y C se mantuvieron durante las horas de ensayo aproximadamente entre 1 y 2 °C por debajo de la temperatura de la bandeja A. Mientras que la temperatura en la chimenea se mantuvo superior a la temperatura de la bandeja A, en un valor cercano a 2 °C. Analizando la temperatura de las diferentes bandejas podemos inferir que si bien la entrada de aire caliente enfrenta las bandejas B y C, la bandeja A es favorecida por ubicarse en la parte superior del secadero, la cual recibe durante todo el período de secado un calentamiento extra proveniente de la radiación solar, mientras que la temperatura en la chimenea (mayor que la bandeja A) hace pensar que no todo el aire que ingresa al secadero atraviesa todas las bandejas, esto es, se detecta presencia de by-pass.

## CONCLUSIONES

De las curvas de secado (figura 6) podemos concluir que el secadero logró una disminución de la humedad en las manzanas desde un 80% de humedad inicial en base húmeda hasta un 20% aproximadamente de humedad final, coincidiendo con las características del producto seco comercializado. Las manzanas secadas a la intemperie, si bien sólo lograron una humedad final cercana al 35%, el proceso de secado fue favorecido por la permanente presencia de viento con velocidades que oscilaron alrededor de 2 m/s.

Las manzanas no recibieron ningún tratamiento previo al secado y a partir de una inspección visual se observó que el producto obtenido presentaba muy buen aspecto con un leve pardeamiento, manteniendo el característico aroma de las manzanas.

De lo expuesto en la figura 3 y teniendo en cuenta los requerimientos de temperatura y caudal de aire para el secadero, se concluye que el colector empleado no satisface la demanda térmica del secadero si es utilizado un día invernal.

Es posible utilizar para el secado de manzanas a escala artesanal este tipo de tecnología, sencilla, económica y de mínimo impacto ambiental, pudiendo utilizarse aún cuando las condiciones climáticas no sean favorables.

Finalmente, se aconseja una rotación de las bandejas, debido a que la operación de secado se presenta no uniforme en cada bandeja con una fuerte tendencia de mayor secado sobre el lado oeste ya que el mayor período de secado ocurre después del mediodía solar y si bien no es significativa la diferencia de pérdida de humedad entre las diferentes bandejas, es conveniente intercambiar los lugares de las mismas.

Cabe mencionar que si bien el secadero se ensayó para manzanas su diseño es adecuado para ser utilizado en la deshidratación de otros productos frutihortícolas como peras, duraznos, pimientos, etc. que requieran para esta operación condiciones similares a las expuestas en este trabajo.

## REFERENCIAS

Bolin, H. y Salunkhe, D. (1982). Food dehydration by solar energy. Critical Review in Food Science and Nutrition. 16(4):327-54.

- Clydesdale F. M. (1991). The effects of post-harvest treatment and chemical interactions on the bioavailability of ascorbic acid, thiamine, vitamin A carotenoids and minerals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 30(6):599-639.
- Corvalán R., Horn M., Román R. y Saravia L. (2000). Ingeniería del Secado Solar. Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía. CYTED-D.
- Lema A., Miriani R., Sender G., Barral J. y Adaro J. (2003). Incidencia de la utilización de una cubierta transparente y de deflectores de flujo en el comportamiento de un colector solar calentador de aire de bajo costo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 7. ISSN 0329-5184.
- López Martínez L. y Pérez Hernández B. (2000). Control de Calidad de Fruta Deshidratada con Energía Solar. Notas del Curso Especializado. SECADO SOLAR, ISES Millennium Solar, Forum 2000, México.
- Ndawula J., Kasaba J. D. y Byaruhanda Y. B. (2004). Alterations in fruit and vegetable  $\beta$ -carotene and vitamin C content caused by open-sun drying, visqueen-covered and polyethylene-covered solar-dryers. *African Health Science*. 4(2):150-30.
- Pangavhane D., Sawhney R. y Sarsavadia P. (2002). Design, Development and Performance Testing of a New Natural Convection Solar Dryer. *Energy* 27, 579-590.
- Passamai V., Passamai M., Andolfi F., Passamai T. y Di Fonzo M. (2004). Secador-invernadero Solar en Cachi Salta. ASADES. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 8, N° 1. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Sogari N. y Busso A. (1999). Productos Hortícolas Deshidratados Utilizando un Secadero Solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.3 Tomo I, pp.02.61, ASADES 1999.

## ABSTRACT

This work describes an apple dehydration experiment performed in a cabinet indirect solar dryer. The system includes basically a dryer chamber composed by a wood structure covered with a inner black polyethylene surface and an external transparent polyethylene. The apples were uniformly distributed on three trays, while another tray was maintained outdoors. In order to monitor the experiment, temperature, solar radiation and humidity data were recorded. Plots of radiation, temperatures and humidity data obtained during the days of drying are shown. In conclusion, it is considered that the dryer has an acceptable behavior.

**Keywords:** solar drying, apple drying.