

EVALUACION DE UN SECADERO SOLAR TENDALERO TUNEL: ESTUDIO DE SECADO DE MANZANAS

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

Recibido 14/08/13, aceptado 29/09/13

RESUMEN: En la selección de un secadero solar se debe tener en cuenta las características del producto a secar, la ubicación geográfica del emprendimiento y el factor económico. A nivel nacional no existe una norma para evaluar la performance de un sistema de secado. En el presente trabajo se evalúa un secadero solar tipo túnel con convección forzada. Está formado por dos partes: un colector solar y a continuación la cámara de secado. El producto utilizado fue manzana tipo comercial (61,7 kg), cortadas en rodajas, tratadas con metabisulfito de sodio para evitar el pardeado. La circulación del aire se realiza mediante dos ventiladores. Se presentan los resultados del proceso de secado, se discute el protocolo aplicado para la evaluación y se realizan aportes metodológicos.

Palabras Clave: secadero tendalero, secadero solar activo, secado de manzana, performance de secadero

INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo económico de pequeñas poblaciones del interior de la Provincia de Catamarca ha generado un aumento en la oferta de productos secados. La pequeña industria familiar o agroindustria, que opera a nivel rural, emplea técnicas artesanales con baja calidad de la producción.

El secado o deshidratado de productos es una tecnología sencilla que consiste en la eliminación de gran parte del agua del producto. La evaporación del agua se hace a través de una corriente de aire caliente. En el proceso de secado se dan simultáneamente dos procesos: la transferencia de calor hacia la superficie del producto, combinada con la transmisión de calor hacia el interior del material, y la transferencia de masa desde el interior del producto a su superficie, seguido del transporte de humedad a los alrededores. Estos procesos de transporte están influenciados por la temperatura, humedad y flujo del aire y por los cambios en la composición química del producto. Con el secado, se busca disminuir al máximo la actividad bioquímica interna y la acción de microorganismos, para mantener por mucho más tiempo el producto en condiciones de almacenaje. El secado aumenta el tiempo de conservación, minimiza las pérdidas durante el almacenamiento y ahorra costos de combustible.

El secado convencional utiliza combustibles fósiles lo que ocasiona que los costos del proceso de secado sean elevados. Estos valores se reducen si se utilizan equipos que aprovechen la energía solar. Los secaderos solares pueden ser pasivos o activos, según el flujo de aire sea en convección natural o forzada, respectivamente. Además pueden ser directos, mixtos o indirectos según que el producto esté expuesto o no directamente a la radiación solar. En general para la selección de un secadero solar se tiene en cuenta las características del producto a secar y la ubicación geográfica del emprendimiento. Otro factor que se tiene en cuenta a la hora de elegir un secadero solar es el económico.

En Argentina, en la última década, se han desarrollado diversos diseños de secaderos solares, dependiendo del producto, de la región y del nivel de producción del emprendimiento: con convección forzada o natural, directos, mixtos o indirectos. La mayoría de los secaderos son para producción familiar o semi industrial y los productos principalmente frutas, hortalizas y aromáticas (Cruz et al., 2012; Gutiérrez et al., 2012; Duran et al. 2011; Sánchez et al., 2010; Iriarte et al., 2010; Bistoni et al., 2010; Bistoni et al., 2009; Pontín et al., 2005; Passamai et al., 2004; Lara et al., 2001; Busso et al., 2001; Zimberg et al., 2000; Curioni et al., 2000). A nivel industrial, para el secado de hortalizas, se construyó un secadero indirecto con flujo de aire forzado para Huacalera, Quebrada de Humahuaca (Echazú et al., 2007; Condorí et al., 2006). También se han construido secadero para la producción de charqui (Durán et al., 2007; Echazú et al., 2001; Condorí, 2002).

En los trabajos mencionados la caracterización de los secaderos se realiza teniendo en cuenta: diseño, eficiencia del colector solar, cinética de secado, variaciones de temperatura y humedad relativa, flujo másico de aire y cantidad de agua evaporada. Zimberg et al. (2000) plantea el uso de índices para comparar un secadero con otro: índice de energía, índice de masa, índice de energía. Pontín et al. (2009) proponen utilizar el concepto de capacidad evaporativa para caracterizar un secadero. En muy poco trabajos se realiza un estudio económico del secadero. García et al. (2000) realizaron una evaluación económica de un invernadero - secadero, llegando a la conclusión que el sistema integrado es una alternativa válida en el marco de una producción sustentable para pequeños productores.

Parcialmente financiada por UNCa, PFIP, INTA

¹ Investigador del CONICET

Si bien existen métodos estándar para evaluar colectores solares, ya sea de aire o agua, no existe una norma para la evaluación de los secaderos solares. La sistematización de las prestaciones técnicas de cada equipo puede ser útil para comparar distintos diseños, facilitando la decisión en el momento de construir uno o de comprarlo por parte del productor.

Augustus León et al. (2002) analizaron distintos trabajos donde se evalúan secaderos solares. Según estos autores, los parámetros que mayormente se utilizan para medir los secaderos solares pueden sintetizarse en:

- Características físicas del secadero
- Rendimiento térmico
- Calidad del producto desecado
- Costos y tiempo de amortización

Basándose en estos análisis, proponen un procedimiento de evaluación que por un lado mejora algunos aspectos de los procedimientos ya existentes, y por otro introduce nuevos parámetros de evaluación. Entre las mejoras propuestas figuran: ampliar los test referidos a la calidad de los productos desecados, considerar el tiempo de secado hasta que el producto alcance el 15 % del contenido de humedad, calcular la eficiencia del sistema de secado hasta este mismo porcentaje de humedad y considerar la densidad de carga a la apertura solar y no al área de bandejas. Entre los nuevos parámetros a tener en cuenta se mencionan: a) apertura solar; b) eficiencia durante el primer día de secado; c) temperatura máxima del secadero con y sin carga; d) período en que la temperatura del aire de secado está a 10 o 15 °C sobre la ambiente; e) tiempo de carga y descarga; f) espacio del piso y habilidades requeridas para los operadores; g) uniformidad del secado, viabilidad de la construcción, seguridad y confiabilidad.

En el presente trabajo se aplica el método de evaluación propuesto por Augustus León et al. (2002) a un secadero solar tipo túnel con convección forzada, durante el secado de manzana. Se presentan los resultados de la evaluación y se realizan aportes metodológicos para acercar la propuesta de evaluación a las condiciones ambientales regionales.

MÉTODO DE EVALUACIÓN

Para la evaluación del secadero solar tipo túnel se siguió la metodología propuesta por Augustus León et al. (2002). Se consideraron los siguientes parámetros que fueron volcados en una planilla:

- Tiempo requerido para alcanzar el 20 % (base húmeda) del contenido de humedad: se analizan las curvas de secado y se estima el tiempo de secado hasta un valor fijo del contenido de humedad, superior al requerido por los productos en general.
- Eficiencia del sistema de colección: La eficiencia instantánea del colector se calculó mediante la ecuación:

$$\eta_c = \frac{\dot{m} c_{pa} (T_{a,sc} - T_{a,eC})}{I A_c} \quad (1)$$

- Eficiencia de secado en el primer día del proceso:

$$\eta_s = \frac{W L}{R A} \quad (2)$$

- Eficiencia del sistema de secado, hasta obtener el 15 % de contenido de humedad: se incluye performance de todo el sistema: colector – cámara de secado, incluida la potencia del motor del ventilador:

$$\eta_{si} = \frac{W L}{R A + P} \quad (3)$$

- Eficiencia de remoción de humedad del producto, “Eficiencia Pick-up”

$$\eta_p = \frac{w_{a,ss} - w_{a,eS}}{w_{a,sa} - w_{a,eS}} = \frac{W}{\rho V t (w_{a,sa} - w_{a,eS})} \quad (4)$$

- Densidad de carga por área de apertura solar, es decir toda el área que recibe radiación solar: kg de producto fresco/m².
- Apertura solar: área del colector más área que recibe radiación solar directa.
- Temperatura máxima en el secadero sin carga y cargado.
- Período en que se manifiesta un salto térmico de 10 °C entre la temperatura del aire dentro del secadero y ambiente.
- Tiempo de carga y de descarga del secadero.

Se grafican las curvas de secado del producto en el secadero y del producto colocado directamente al sol.

EXPERIENCIA DE SECADO

Descripción del secadero

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 media sombra al 80 %, sobre la cual

se colocan las bandejas. Por debajo de las bandejas, a 0,20 m de la media sombra, se ha instalado un plástico negro para favorecer la absorción de la radiación solar que pasa entre los intersticios del producto cuando éste comienza a secarse.

A 0,25 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 45W cada uno, colocados en el ingreso al colector. Los ventiladores están programados para arrancar cuando la temperatura del aire interior al colector es mayor que 25 °C. 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.

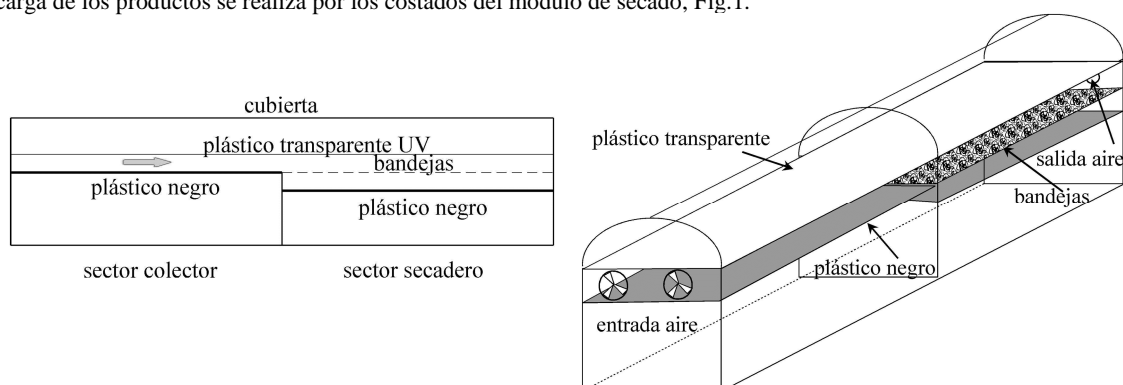


Figura 1. Corte y vista del secadero tendalero túnel

En el suelo, debajo del tendalero, se colocó un plástico negro para evitar el crecimiento del pasto; sobre el mismo se pusieron piedras pintadas de negro para acumular parte de calor que gana el sistema en la parte inferior. El secadero tiene capacidad para diez bandejas de 1 m x 0,80 m, construidas de madera y media sombra.

La radiación solar que pasa a través de las cubiertas transparentes del secador también aporta calor al producto (colector secundario), contribuyendo al aumento de la velocidad de secado.

Proceso de secado

En el mes de abril se cargó con 61,700 kg de manzanas, tipo comercial. Las manzanas se cortaron en rodajas de 0,005 m de espesor y se colocaron en un baño de metabisulfito al 0,05 % durante 3 minutos para evitar el pardeado. El secado se inició a las 13 horas locales.

Se seleccionaron nueve muestras de aproximadamente 90 g cada una y se colocaron en distintos puntos del secadero. En un tendalero al aire libre se colocó 0,500 kg de manzanas con el objeto de comparar la velocidad y tiempo de secado.

Las curvas de secado se realizaron teniendo en cuenta el contenido de humedad en base seca (M) en función de las horas reales que demandó el secado. Estas curvas fueron ajustadas matemáticamente; mediante derivación se determinaron las velocidades de secado correspondientes. El peso seco del producto se obtuvo llevando una muestra a estufa a 102 ° C hasta obtener peso constante.

Sistema de medición

Para medir la temperatura y humedad se utilizaron Data Logger tipo HOBOS inalámbricos con sensores externos "smart sensor" que permite medir temperatura en el rango de -40 °C a 75 °C (precisión de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, resolución de $0,02^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa del aire entre 10 - 90% (precisión de $\pm 2,5 \%$, resolución de $0,1 \%$). Los sensores para medir temperatura son termistores y para la medición de humedad son semiconductores HUM-RHPCB-2. Ambos están en una sola unidad contenidos por una funda de PVC modificado con una membrana de poliéster sulfona hidrofóbicas (PES). También se usaron Data Logger tipo HOBOS U12 con sensores internos y externos; temperatura ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) y humedad ($\pm 1\%$). Los sensores de temperatura y humedad del aire se ubicaron a lo largo del sistema en la dirección del flujo de aire en tres puntos del colector y en tres del secadero, se registraron cada 15 minutos durante el proceso de secado.

La radiación solar se midió con un piranómetro horizontal Kipp&Zonen ($\pm 5 \%$). Las variables meteorológicas se determinaron con la estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia. La velocidad del aire se midió con un anemómetro de hilo caliente, marca TSI 1650 ($\pm 0,05 \text{ ms}^{-1}$), en diferentes puntos en dirección longitudinalmente y transversalmente. Las muestras se pesaron con una balanza electrónica (Mettler $\pm 0,1\text{g}$) y la pesada inicial y final de todo el producto con una balanza de plato ($\pm 1\text{g}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experiencia de secado

Las variaciones de la irradiancia sobre superficie horizontal durante se muestran en la Figura 2. Se trata de cuatro días claros, con radiaciones promedio diario del orden de 537 W m^{-2} sobre superficie horizontal. La temperatura máxima promedio del aire a la salida del colector fue de 50 °C durante el tiempo de secado. Asimismo, la humedad relativa del aire al ingreso del secadero, promedio para los cuatro días, fue de 36 %, con mínimas en el orden de 15%. Para un flujo de aire de $0,15 \text{ kg s}^{-1}$, constante a lo largo del secado, la eficiencia promedio del colector para los cuatro días de secado fue de 40,4 %, con un valor máximo de 43,2 %, correspondiente al último día.

En la Figura 2, también se aprecian las variaciones temporales de las temperaturas del aire a la entrada ($T_{a,eS}$) y a la salida ($T_{a,sS}$) del sector de secado y la temperatura ambiente, para los cuatro días de secado.

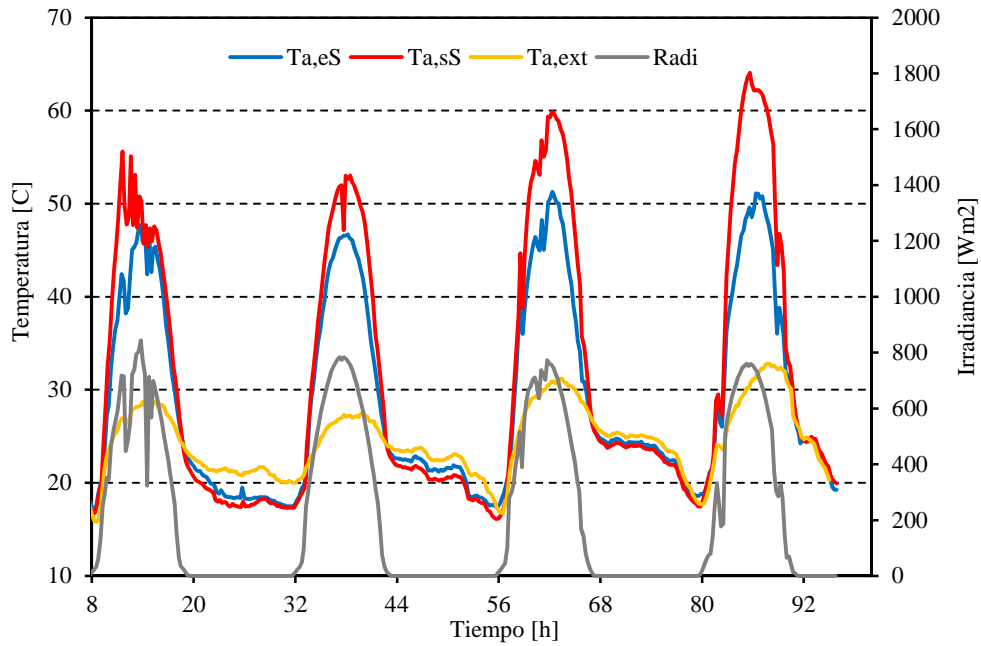


Figura N° 2. Variación de temperatura en distintos puntos del sector secador en función del tiempo.

Es conveniente tener en cuenta, que el secado es efectivo cuando se da un salto térmico de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura del aire dentro del secadero y la ambiente, por lo que es importante determinar el tiempo en que esa diferencia de temperatura es al menos de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la Fig. 3 se presenta la variación de la diferencia de temperatura del aire entre la entrada al sector de secado y el ambiente exterior (ΔT_{as}), en función del tiempo y la correlación entre esa diferencia de temperatura y la radiación solar sobre superficie horizontal, durante el período en que funciona el secadero. Como se aprecia, esta diferencia de temperatura es mayor a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un período de tiempo de 23,5 h, mientras el tiempo real de secado (sin considerar las horas en que no hay radiación solar) es de 29 h, lo que implica casi el 81 % del tiempo de secado.

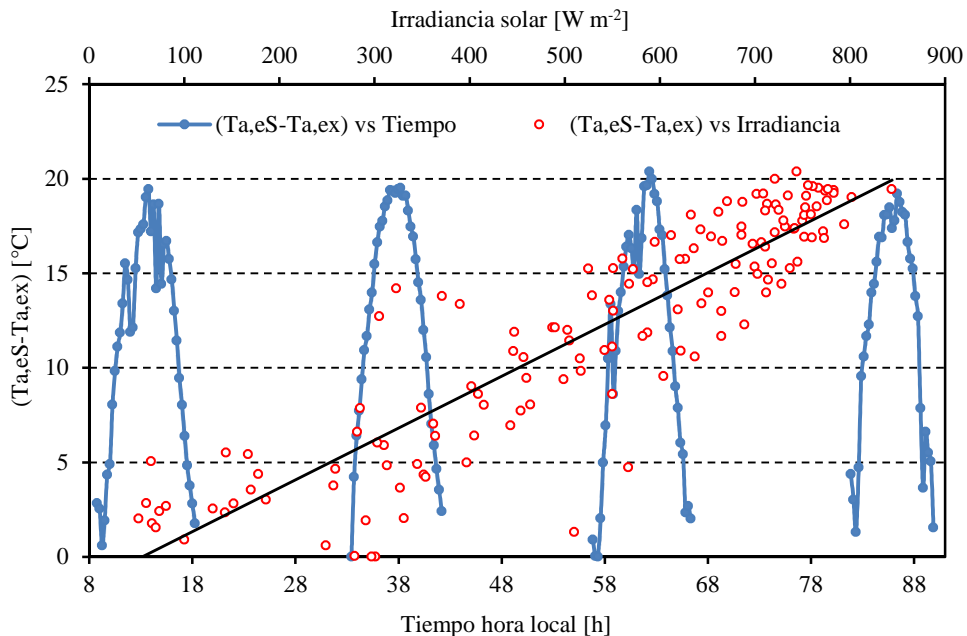


Figura 3. Diferencia de temperatura interior y exterior del secadero en función del tiempo e irradiancia

En la Fig. 3, también se muestra la relación entre la diferencia ΔT_{as} y la irradiancia, que responde a la siguiente ecuación de regresión:

$$\Delta T_{as} = 0,0253 I - 1,41 \quad R^2 = 0,81 \quad (5)$$

La diferencia de temperatura ΔT_{as} es mayor que $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para valores de irradiancia mayores que 450 W m^{-2} .

En la Fig. 4 se grafica el contenido de humedad, expresado en kg kg^{-1} referido a base seca (bs), en función del tiempo real de secado, para tres muestras características del proceso. Se omiten las otras muestras porque tienen comportamientos similares. La muestra de manzana M11 corresponde a la muestra ubicada sobre un tendalero, expuesta al sol directo. El contenido inicial de humedad del producto fue de $5,82 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs), llegando al final del proceso a $0,12 \text{ kg kg}^{-1}$ (bs). Se advierte que después de 13 horas de haber iniciado el secado, la velocidad de extracción de agua disminuye sustancialmente hasta el final del proceso.

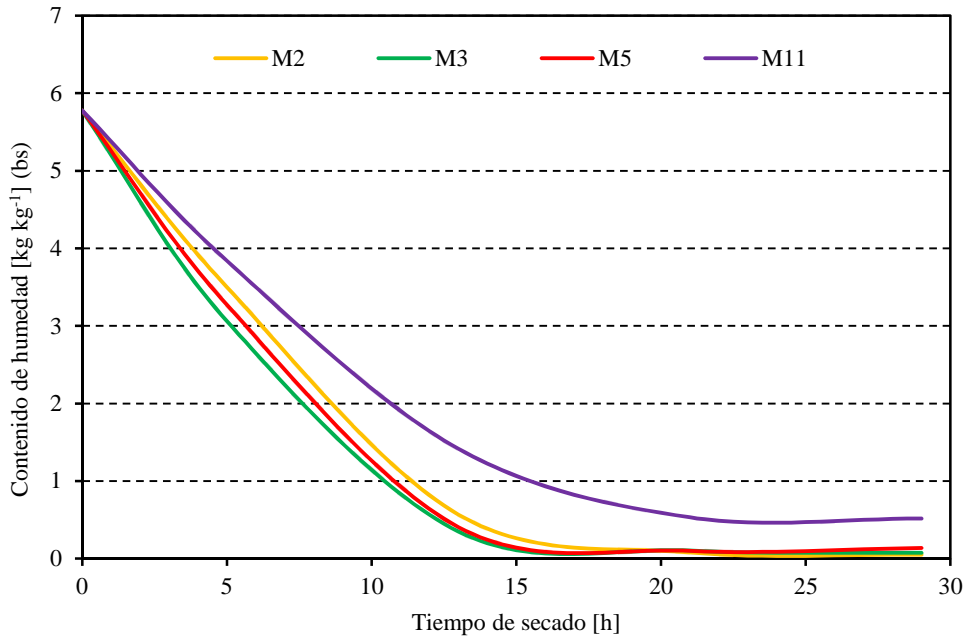


Figura N° 4. Contenido de humedad de las muestras con tratamiento dentro del secadero y al aire libre

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

$$v_{s2} = 0,6 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,038 t + 0,6056 \quad R^2=0,994 \quad (6)$$

$$v_{s3} = 0,12 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,058 t + 0,723 \quad R^2=0,997 \quad (7)$$

$$v_{s5} = 0,9 \cdot 10^{-3} t^2 - 0,0488 t + 0,6719 \quad R^2=0,995 \quad (8)$$

$$v_{s11} = 0,9 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,0212 t + 0,4634 \quad R^2=0,999 \quad (9)$$

En la Fig. 5 se muestra la variación de la entalpía del aire a la entrada, salida del secadero y del ambiente exterior, en función del tiempo. También se grafica la irradiancia solar sobre superficie horizontal en función del tiempo. En la Fig. 6 se muestra el secadero solar cargado con manzanas.

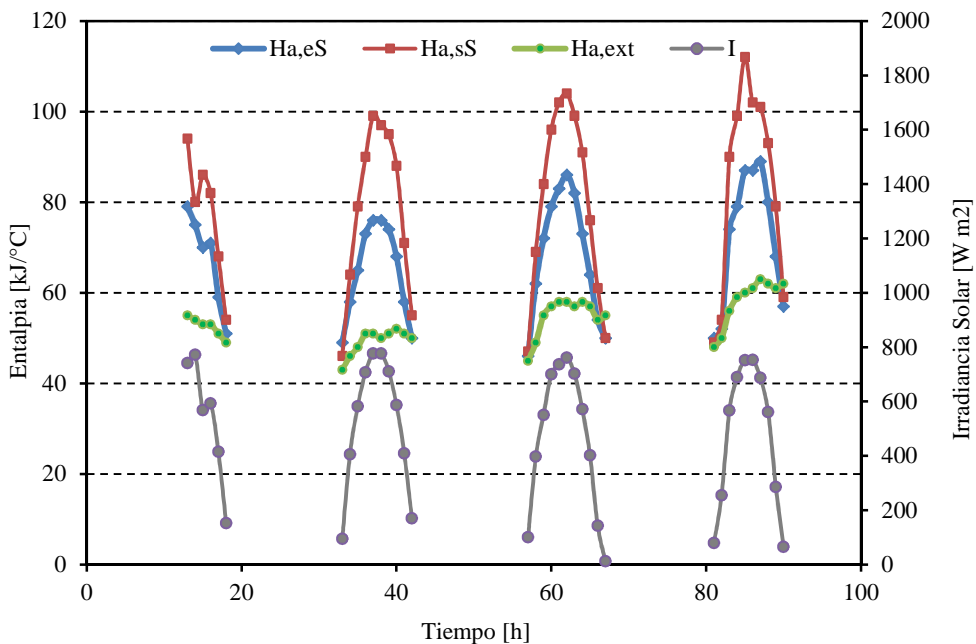


Figura N° 5. Variación de las entalpías e irradiancia en función del tiempo

Evaluación del secadero según la norma

En la Tabla 1 se detallan las características: ambientales, físicas y performance térmica del secadero. También se incluye la calidad de producto terminado, y el costo del sistema.

Producto: manzana tipo comercial	
Contenido inicial de humedad (% bh)	85,4
Irradiación global sobre plano de colector (MJ/m ²)	
Día 1	17,9
Día 2	18,9
Día 3	18,2
Día 4	17,1
Temperatura ambiente promedio (°C)	
Día 1	22,2
Día 2	23,8
Día 3	24,0
Día 4	25,3
Humedad relativa ambiente promedio (%)	
Día 1	54,5
Día 2	52
Día 3	58
Día 4	57,5
PARÁMETROS	
Cantidad de producto cargado (kg)	61,7
Densidad de carga (kg/m ² de apertura solar)	3,4
Superficie de colección (m ²)	9
Inclinación del colector (°)	0
Apertura solar (m ²)	18
Superficie total de bandejas (m ²)	9
Flujo de aire (m ³ /s)	0,154
Tiempo de secado hasta contenido de humedad 10 %, incluyendo la noche (h)	79
Eficiencia de secado, primer día (%)	38,3
Eficiencia de colector solar (%)	37,1
Eficiencia de remoción (“Pick-up”) de humedad (%)	42
Temperatura promedio del aire a la salida (°C)	
Día 1°	36,6
Día 2	36,3
Día 3	38,2
Día 4	38,3
HR promedio del aire a la salida (%)	
Día 1°	29,7
Día 2	32,5
Día 3	34,3
Día 4	36,4
Temperatura máxima secadero sin cargar (°C)	50,6
Temperatura máxima secadero con carga (°C)	51,3
Duración de la temperatura del aire en 10 °C sobre el ambiente sin carga (h)	5,58
Calidad del producto	MB
Facilidad de carga / descarga (0-10)	7
Costo del secadero (U\$S)	500

Tabla 1. Resultados de la evaluación del secadero tendalero túnel con manzana

Consideraciones sobre la planilla de evaluación

En general, la planilla reúne los parámetros y datos necesarios para evaluar un secadero, especialmente cuando se comparan sistemas solares de distintos diseños.



Figura 6. Vista interior y exterior del secadero tendalero túnel cargado con manzanas

Un dato importante considerado por estos autores es considerar el área de apertura solar para la determinación de la densidad de carga. De esta forma es posible comparar secaderos que si bien tienen dimensiones similares, la disposición de las bandejas no es la misma; por ejemplo cuando se tiene un secadero tipo gabinete en confrontación con un secadero túnel como el que se evalúa en este trabajo.

Otra cuestión significativa es considerar la eficiencia “pick up”, es decir la capacidad que tiene el aire de remover el contenido de humedad del producto, solamente para el primer día, que es cuando se da el período de velocidad constante de secado, sin la influencia de las características del producto.

En la planilla figura la temperatura máxima del secadero, ya que este valor es un indicador de la eficiencia de colección y de la aislación térmica del secadero, además de asegurar que la temperatura de secado no afectará la calidad del producto. Cuando el secadero está cargado con producto, esta temperatura disminuye de acuerdo con el tipo de producto y el contenido de humedad, se debe registrar también la temperatura máxima alcanzada por el secadero sin carga. Se considera que no es significativo colocar en la planilla los dos valores ya que no pueden determinarse simultáneamente, bastando que solo se mencione la del secadero con carga. Asimismo, en la planilla se indica la temperatura y humedad promedio del aire a la salida del secadero. Se advierte de la experiencia analizada que estos valores promedio no aportan conocimiento sobre lo que pasa en el interior del secadero, ya que el aire aumenta su temperatura al circular por el sector de secado, debido al aporte de radiación. Sería más conveniente tomar el promedio de las temperaturas en el interior del secadero.

Los autores del modelo de evaluación hacen hincapié en la calidad final del producto, presentando tablas de evaluación. En la experiencia de secado solo se tuvo en cuenta el color y sabor, y se comprobó que fue factible la rehidratación.

CONCLUSIONES

El secadero es de una construcción sencilla, de bajo costo y mano de obra no especializada. Esta logrado con materiales que se usan en la vida cotidiana. La capacidad de carga es razonable para los volúmenes que operan los pequeños productores. Estas cualidades del secadero facilitan su transferencia y adopción.

Se considera que la planilla de evaluación junto con la cinética de secado constituyen una herramienta útil a la hora de evaluar la performance de un sistema de secado solar. Al respecto cabe destacar que algunos de los parámetros mencionados en la planilla, no son adecuados para representar el comportamiento de secaderos en regiones con amplitud térmica. En sentido se propone mejorar la propuesta de evaluación a fin de adaptarla a las condiciones ambientales, económicas y culturales de las distintas regiones argentinas.

NOMENCLATURA

A: Área de apertura [m^2]

Ac: Área del colector [m^2]

c_{pa} : Calor específico del aire [$J/kg^{\circ}C$]

$H_{a,eS}$: Entalpía del aire a la entrada del secadero [kJ/kg as]

$H_{a,sS}$: Entalpía del aire a la salida del secadero [kJ/kg as]

$H_{a,ext}$: Entalpía del aire exterior [kJ/kg as]

$w_{a,es}$: Humedad específica del aire a la entrada del secadero [kg/kg as]

$w_{a,ex}$: Humedad específica del aire exterior [kg/kg as]

$w_{a,ss}$: Humedad específica del aire a la salida del secadero [kg/kg as]

$w_{a,sa}$: Humedad específica de saturación del aire a la temperatura de entrada [kg/kg as]

I: Irradiancia solar sobre superficie horizontal [W/m^2]

L: Calor latente de vaporización a la temperatura del aire [J/kg]

\dot{m} : Flujo másico del aire [kg/s]

P: Energía consumida por los ventiladores [J]

R: Energía solar aportada [J/m^2]

$T_{a,eC}$: Temperatura del aire a la entrada del colector [$^{\circ}C$]

$T_{a,ex}$: Temperatura del aire exterior [$^{\circ}C$]

$T_{a,sC}$: Temperatura del aire a la salida del colector [$^{\circ}C$]

t: Tiempo de secado [s]

V: Flujo volumétrico de aire [m^3/s]
 ρ : Densidad del aire [kg/m^3]
W: Peso de agua evaporada en el producto [kg]
 η_c : Eficiencia instantánea de colección solar [%]
 η_s : Eficiencia de secado [%]
 η_{si} : Eficiencia del sistema de secado [%]
 η_p : Eficiencia de la remoción de humedad del producto [%]

REFERENCIAS

- Augustus Leon S., Kumar M., Bhattacharya S. (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Pergamon. Vol. 6, pag. 367–393.
- Bistoni S., Iriarte A., García V., Luque Víctor, Rodríguez C. y H Sánchez. (2009). Secadero solar semi – industrial para productos agrícolas, V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, Salta, Capítulo V, pág. 273-279.
- Bistoni S., Iriarte A., Luque V. y Gómez S. (2010). Evaluación del comportamiento de un secador solar mixto para pequeños productores, VI Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, Jujuy, pág. 205 – 300.
- Busso A., Sogari N., Lancelle H. G. Arrieta F., Tokeff J.P., Leyes M. (2001). Optimización de un secadero solar de tipo gabinete: evaluación y modelización del proceso de secado y tipificación del producto seco, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, pág. 02.31-02.36.
- Curioni, A., Righini R., Antelo O., Alfonso W. (2000). Secado de especies aromáticas en la provincia de buenos aires. Factibilidad del recurso solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 4, pág. 02.15 - 02.21.
- Condori M. (2002). Diseño y construcción de secadores solares destinados a la producción de carne deshidratada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6, pág. 02.25 - 02.30.
- Condori M., Echazú R., Saravia L. (2006). Secador solar indirecto con flujo de aire forzado para Huacalera, quebrada de Humahuaca, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10, pág. 02.47 - 02.54.
- Cruz I., Sauad J., Condori M. (2012). El deshidratado de los frutos de algarroba (*prosopis alba*). Análisis comparativo entre secador solar y métodos tradicionales del NOA, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 16, 02. pág. 2.33-2.39.
- Durán G., Condori M., 2007, Ensayo de un secador solar pasivo con chimenea concentrador y extractor eólico destinado a la producción diaria de charqui, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 11, pág. 02.59 – 02.66.
- Durán G., Margalef M., Condori M., Castillo S. F., Estrada L. (2011). Ensayos de secado de nopalito (*Opuntia Ficus indica L. Millar*) en un secador solar pasivo de uso doméstico, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 15, pág. 02.01 - 02.08.
- Echazú R., Iriarte N., Morón M. J., Quiroga M., Saravia L. (2001). Secado solar de carne de llamas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, pág. 02.01 - 02.06.
- Echazú R., Condori M., Durán G., Saravia L. (2007). Curvas de secado experimentales En la planta de deshidratado solar de Huacalera, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 11, pág. 02.9 - 02.16.
- García V., Iriarte A., Carabajal D., Sabadzija G. y Tomalino L. (2000). Invernadero - secadero solar para pequeños productores: evaluación económica. *Revista Avances en energías renovables y medio ambiente*, Vol. 4, N° 1, pág. 02.75 - 02.82.
- Gutiérrez A., Herrera M., Mansilla F., Sisca N., (2012). Secadero solar indirecto de circulación natural, para hierbas aromáticas, frutas, y verduras en la ciudad de Pico Truncado. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 12, pág. 02.01 – 02.07.
- Iriarte A., Bistoni S., Luque V., Lara M y Brizuela L. (2010). Secadero tendalero con chimenea solar, *Avances en Energías renovables y medio ambiente*, Vol. 14, pág. 02.12 - 02.08.
- Lara M., Cassinera A., Busilacchi H., (2001). Secaderos de hierbas aromáticas en la provincia de santa fe: diseño, construcción y mejoras, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, pág. 02.25 – 02.30.
- Pontín M., Lema A., Ritta R., Sanmartino A., Ghirardotto M. (2005). Secadero solar para frutas: estudio de caso, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 9, pág. 02.43 – 02.48.
- Pontín M., Morsetto J., Lema A., Ruetsch L. (2009). La “capacidad evaporativa” utilizada como un índice de comportamiento de un sistema de secado integrado por un ventilador, colector solar y cabina de secado. Vol. 13, pág. 02.43 - 02.50.
- Passamai V., Passamai M., Andolfi F., Passamai T., Di Fonzo M. (2004). Secador-invernadero solar en cachi, salta, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 8, N° 1, pág. 02.07 – 02.12.
- Sánchez H., Bistoni S., Iriarte A., Luque V. (2010). Manejo de cultivo y proceso post cosecha del pimiento parta pimentón en el valle central de Catamarca, *Revista del Centro de investigaciones en zonas áridas y semiáridas, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCa*, Vol. 11, N° 1, pág.7-16, 2010.
- Zimberg B., Sica U., Mathisson J. (2000). Performance del secado solar de hierbas aromáticas en procesos convectivos no forzados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 4, pág. 02.01 – 02.07.

ABSTRACT: To select a solar dryer should take into account the characteristics of the product to be dried, the geographic location and the economic factor. A national level, a standard for assessing the performance of a drying system does not exist. In this paper a solar tunnel dryer with forced convection is evaluated. It is composed of two parts: a solar collector and the drying chamber. The used product was commercial apple (61.7 kg), cut in slices and treated with sodium metabisulfite to prevent browning. Air circulation is done by two fans. The results of the drying process are presented, the protocol applied for evaluation is discussed and methodological contributions are made.

Keywords: Dryer “tendalero”, active solar dryer, dried apple, dryer performance