

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA CINÉTICA DE SECADO PARA PEREJIL EN CONDICIONES DE SECADO SOLAR

J. Morsetto, A. Lema, M. Pontin, G. Paisio
Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería
Ruta Nacional 36 Km. 601, (5800) Río Cuarto – Córdoba, Argentina
Tel. +54 (358) 467 6488 - Fax +54 (358) 467 6246 . E-mail jmorsetto@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del trabajo realizado es estudiar la cinética de secado en capa delgada para hojas y tallos de perejil utilizando un secadero solar indirecto. El equipo en el que se realizaron las experiencias consta de una cabina de secado formada por una estructura de madera recubierta por polietileno negro y un colector solar, diseñado y construido por nuestro grupo de trabajo. Para determinar las constantes de doce modelos matemáticos teóricos evaluados, se realizó un análisis de regresión no lineal. Según dicho análisis y para las condiciones en las que se realizaron las experiencias, se concluye que el modelo que describe de manera más adecuada a la cinética de secado es el de Midilli – Kucuk. Durante la realización 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.

Palabras clave: cinética de secado, secado en capa delgada, secado solar, secado de perejil.

INTRODUCCIÓN

El perejil se considera usualmente como una especia. La más cultivada es la “*petroselinum crispum*”, conocida vulgarmente como de hoja crespa. La hierba tanto fresca como seca, se utiliza extensamente como condimento en diversos productos alimenticios a causa de su olor aromático de gran alcance (Díaz-Maroto et al., 2003). Es una fuente muy rica de las vitaminas C y E, caroteno, tiamina y minerales orgánicos. Debido a su alto contenido en agua (78-84%), el perejil se seca ordinariamente para el mercado, de modo de inhibir el crecimiento de microorganismos y prevenir la degradación debido a reacciones bioquímicas.

El secado solar es uno de los más viejos métodos de preservación de alimentos y es una alternativa cuando el costo del proceso juega un papel fundamental en la rentabilidad de la actividad productiva. Los secaderos solares de bajo costo destinados al secado de hierbas aromáticas, utilizan frecuentemente cubiertas plásticas negras, de modo de preservar el color del producto seco (Pontin et al., 2005).

La estrategia para lograr un diseño eficiente de un secadero de alimentos, es una combinación de información experimental del producto y del proceso, conjuntamente con la formulación teórica de modelos usados para simular la cinética de secado.

La cinética del secado también puede ser usado para diseñar unidades nuevas así como para controlar y optimizar unidades ya existentes, por esta razón la cinética de secado debe estar bien definida o de lo contrario es necesario disponer de modelos confiables.

Existen trabajos y estudios experimentales sobre las características de secado de numerosos productos vegetales basados en el proceso de capa delgada, incluso perejil (Lema et al., 2007), pero no se han encontrado estudios de cinética de secado para perejil en condiciones de secado solar. Este tipo de abordaje metodológico, permite hacer una evaluación predictiva de las condiciones óptimas de secado, o introducir cambios en las condiciones de operación de los equipos, cuyos resultados sean previsibles.

Las curvas presentaron un período de velocidad decreciente. El estudio cinético fue realizado evaluando doce modelos matemáticos que describiera el comportamiento del secado del perejil. La validez de los modelos fue evaluada usando el coeficiente de correlación ajustado (r^2 ajustado), el chi cuadrado (χ^2) y la raíz cuadrada del error Standard (RMSE), encontrándose que el modelo de Midilli – Kucuk representa bien la cinética de secado estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sustrato

En el desarrollo de este trabajo las muestras utilizadas para el secado fueron hojas con porciones de tallo de perejil fresco (*Petroselinum crispum*) provenientes de la cosecha de plantines disponibles en el predio del laboratorio de Energía Solar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto. La humedad inicial de las muestras en base húmeda fue del 81.3 %, mientras que el contenido final de humedad varió entre 4,65 % y el 25,2 %.

Descripción del secadero

Para este trabajo se realizó el montaje de un sistema experimental de secador solar, con el mismo se experimentó durante tres días. Se utilizó un secador de lecho fijo, con flujo cruzado que cuenta con circulación natural de aire. Se eligieron días claros con diferentes velocidades de viento. Se montaron sensores de temperatura y velocidad del aire, también se realizaron registros de radiación y condiciones meteorológicas ambientales.

El secadero solar es indirecto de tipo gabinete, consta básicamente de una cabina de secado y un colector solar (Fig. 1 y 2). La cabina de secado ubicada a 1,40 m respecto del nivel del suelo, consiste en una estructura de madera de 1,00 m de altura por 1,00 m de ancho y 0,30 m de profundidad, sobre la cual se montó una cubierta de polietileno negro de 150 μm de espesor, para evitar el deterioro del producto por la radiación solar (Ndawula et al., 2004).

En su interior se ubicó una bandeja de malla fina de acero inoxidable, de 0,30 m x 0,90 m, sobre la cual se colocaba la muestra a secar. En el interior del secadero el aire circula en flujo ascendente a través de la bandeja, y sale por la parte superior de la cámara, donde se ubica un extractor eólico de aluminio.

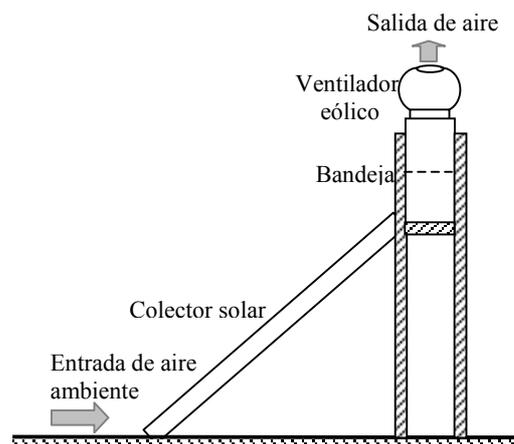


Figura 1- Esquema del sistema de secado solar.



Figura 2 - Fotografía del secadero solar

Descripción del colector de aire

Se diseñó y construyó un colector solar de aire plano, que fuera capaz de suministrar los aportes energéticos necesarios para la operación de secado. El aire fresco ingresa al colector por el extremo libre y sale por el extremo conectado al gabinete de secado (Fig.1) a través de un extractor eólico.

El colector solar se montó mirando hacia el norte al con una inclinación de 45°, si bien el ángulo de inclinación es regulable. Consiste en una estructura de madera de 5 mm de espesor, pintada con un recubrimiento plástico que la protege de la interperie. La superficie colectorora es una chapa corrugada de zinc, pintada de negro mate y separada aproximadamente 5 cm de la superficie transparente, formando el canal de flujo de aire. La parte inferior de la superficie absorbidora está en contacto con una capa estanca de aire cercana a 5 cm, que queda atrapado entre la chapa y una superficie reflectante que recubre la lana de vidrio que reviste la estructura de madera. El esquema se muestra en la Fig. 3.

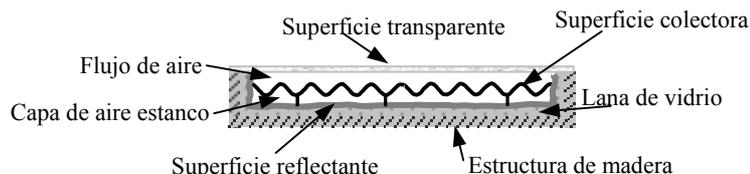


Figura 3 - Corte transversal del colector

Determinación de las condiciones de proceso en el desarrollo de la experiencia

La determinación de la humedad de las muestras se realizó por secado en estufa a 90°C, durante 24 hs. Las muestras fueron previamente molidas hasta lograr los requerimientos establecidos en la norma IRAM 15 850-1. Bajo estas condiciones de trabajo, al cabo de 20 hs de permanencia en la estufa, las muestras ya secas alcanzaban peso constante. Para cuantificar la masa húmeda o seca, se utilizó una balanza analítica marca Ohaus con una precisión de 0.001g

Las temperaturas en puntos estratégicos del colector y el secadero fueron registradas mediante un termómetro digital TES – 1307, las variables meteorológicas se midieron mediante una estación meteorológica automática, que registra temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, etc. mientras que la radiación solar incidente sobre superficie horizontal y sobre el plano del colector se registraron mediante dos solarímetros fotovoltaicos conectados a un sistema de adquisición de datos.

Formulación matemática

La relación de humedad definida por $RH = (X_i - X_E) / (X_0 - X_E)$, siendo X_i la humedad instantánea en la observación i , X_E la humedad de equilibrio y X_0 la humedad inicial, todas ellas calculadas en base seca, a propuesta de algunos autores (Günhan et al., 2005), (Midilli y Kucuk, 2002), (Togrul y Pehlivan, 2003), fue reducida a la siguiente expresión matemática debido a la fluctuación continua del aire de secado durante las experiencias:

$$RH = X / X_0 \quad (1)$$

Las curvas de secado fueron ajustadas con 12 modelos propuestos por diferentes autores (Midilli A. et al, 2002), (Yaldiz y Ertekin, 2001), (Günhan et al., 2005) y (Togrul y Pehlivan, 2003) los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos matemáticos seleccionados para el secado en capa delgada para el perejil

Nº modelo	Nombre del modelo matemático	Expresión matemática
1	Newton	$RH = \exp(-kt)$
2	Page	$RH = \exp(-kt^n)$
3	Page Modificado	$RH = \exp(-(kt)^n)$
4	Henderson y Pabis	$RH = a \exp(-kt)$
5	Logaritmico	$RH = a \exp(-kt) + c$
6	Dos términos	$RH = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
7	Dos términos exponenciales	$RH = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
8	Wang y Singh	$RH = 1 + at + bt^2$
9	Aproximación de difusión	$RH = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
10	Henderson Modificado y Pabis	$RH = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
11	Verma y otros	$RH = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
12	Midilli - Kucuk	$RH = a \exp(-kt^n) + bt$

El análisis de regresión fue realizado mediante un programa de computación utilizando matlab 6.5. Para evaluar el ajuste de los modelos matemáticos propuestos con los datos experimentales, se realizó un análisis de regresión no lineal, y se calcularon los siguientes estadísticos: el coeficiente de correlación ajustado (r^2), el chi cuadrado reducido (χ^2) y la raíz cuadrada del error Standard (RMSE). Altos valores para r^2 y bajos para χ^2 y RMSE corresponden a un buen ajuste.

RESULTADOS

Los datos experimentales obtenidos a partir de las experiencias de secados fueron volcados en las figuras 4, 5 y 6, presentándose como Día 1, 2 y 3.

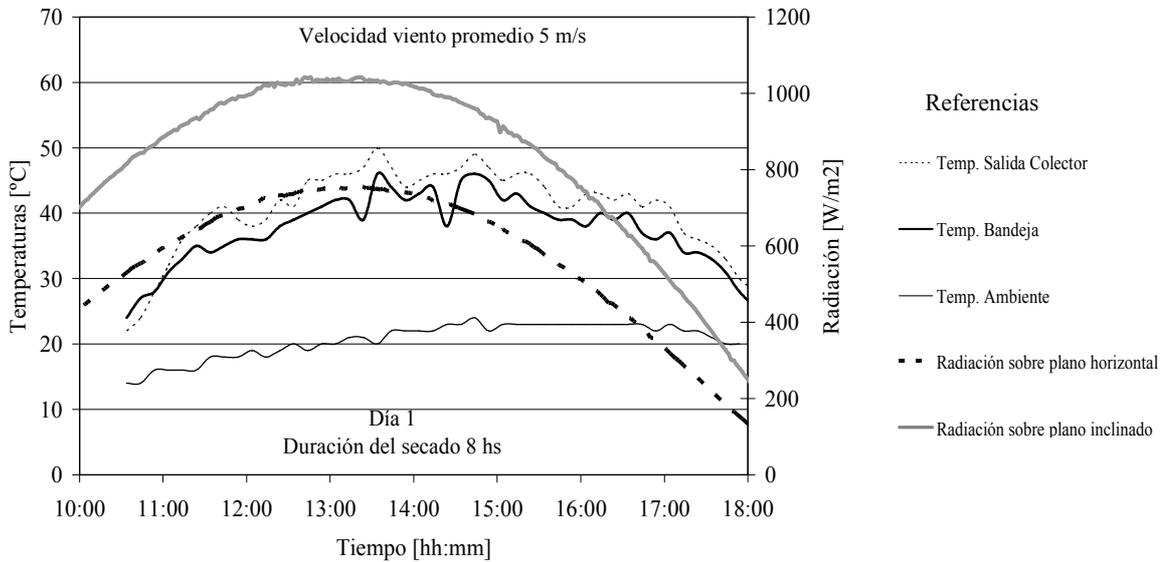


Fig. 4. Caracterización Día 1

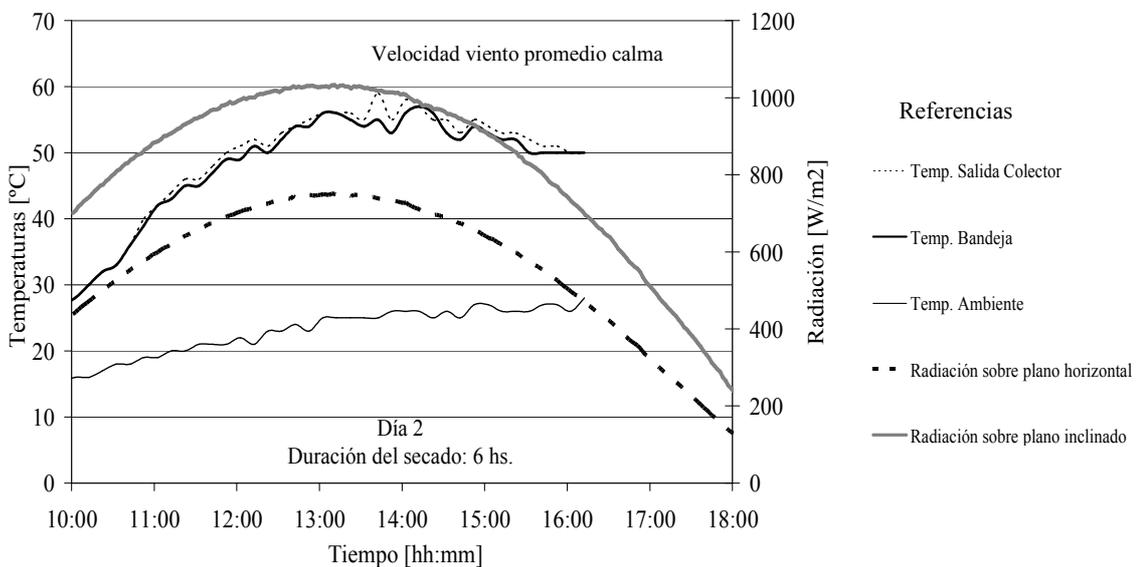


Fig. 5. Caracterización Día 2

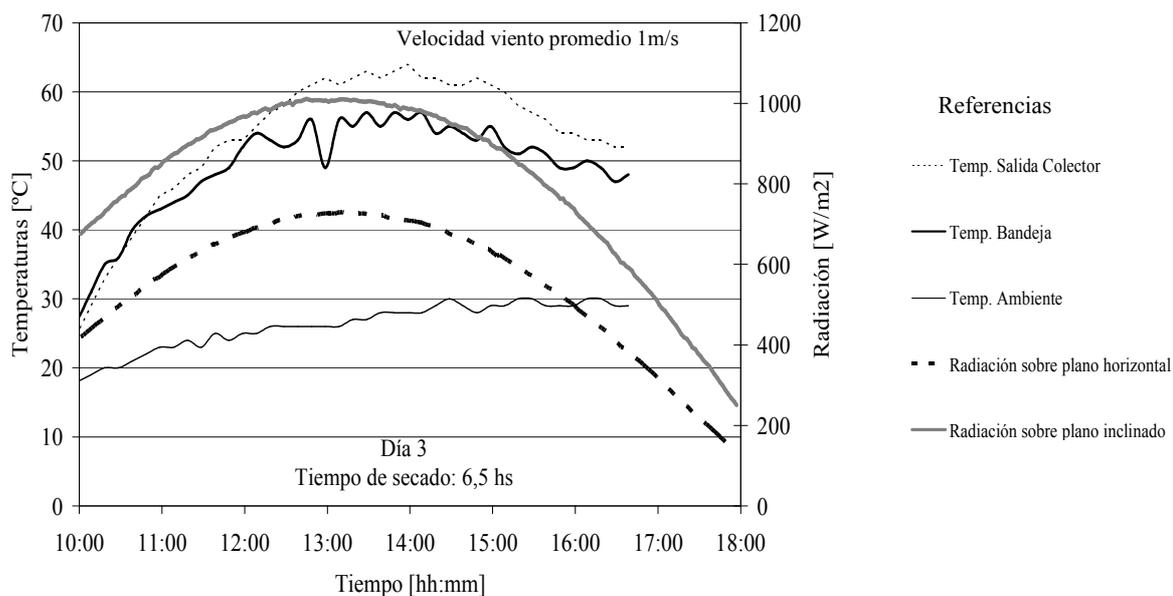


Fig. 6. Caracterización Día 3

Los datos del contenido de humedad en base seca para los diferentes días de ensayo se convirtieron en la relación de humedad (*RH*) definida por la ecuación 1 y luego se ajustaron utilizando los modelos mostrados en la Tabla 2. Los análisis estadísticos mostraron que el mejor ajuste lo proporcionaba el modelo de Midilli Kucuk, ya que ofreció los mejores valores para los estadísticos de selección. En la figura 7, se presentan los valores experimentales y los calculados usando el modelo de Midilli Kucuk.

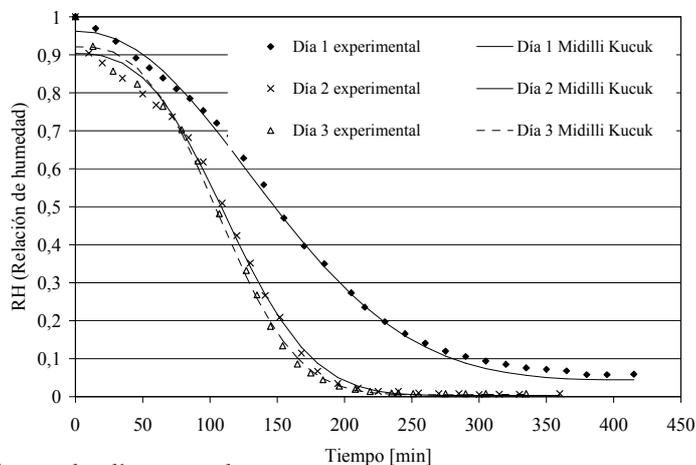


Fig. 7. Curvas de secado para los días ensayados.

CONCLUSIONES.

De las curvas de secado (Fig. 7) podemos concluir que el secadero logró una adecuada disminución de la humedad del perejil, presentando muy buen aspecto con un leve pardeamiento, manteniendo el característico aroma del perejil.

Es notablemente significativa la influencia de la velocidad del viento en el comportamiento del secadero (Figs. 4,5 y 6) ya que se traduce directamente en una disminución considerable de la velocidad de secado.

De los modelos propuestos para describir la cinética de secado, el de Midilli Kucuk dio el mejor ajuste (Fig.7).

Es posible utilizar para el secado de perejil a escala artesanal este tipo de tecnología, sencilla, económica y de mínimo impacto ambiental.

REFERENCIAS

- Díaz-Maroto M.C., Vinas M.A.G. y Cabezedo M.D. (2003). Evaluation of the effect of drying on aroma of parsley by free choice profiling, *European Food Research Technology* 216 (2003), pp. 227–232.
- Günhan, T., Demir, V., Hancioglu, E. and Hepbasli, A. (2005) Mathematical modeling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46x(11-12), 1667-1679.
- Lema A., Pontin M., Sanmartino A., Ziletti M., Martinello M. (2007). Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. *Avances en Energías Renovables* Vol. 11 08-75 08-82
- Midilli A, Kucuk H, Yapar Z., (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513,
- Ndawula J., Kasaba J. D. y Byaruhanda Y. B. (2004). Alterations in fruit and vegetable β -carotene and vitamin C content caused by open-sun drying, visqueen-covered and polyethylene-covered solar-dryers. *African Health Science*. 4(2):150-30.
- Pontin M., Lema A., Ritta R., Sanmartino A., Ghirardotto M. (2005). Secadero solar para frutas – Estudio de caso. *Avances en Energías Renovables*. Vol. 9 pag. 02-43 02-48
- Togrul, I. y Pehlivan, D. (2003) Modeling of drying kinetics of single apricot. *Drying Technology*, 19, 583-596.
- Yaldiz, O. y Ertekin, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 63, 349-359.

ABSTRACT

The objective of the work carried out is to study kinetic of drying in thin layer for leaves and the stems of parsley being used an indirect solar dryer. The equipment in that the experiences were realised consists of a cabin of drying formed by a wood structure covered in black polythene and a solar collector, the same was designed and constructed by our work group. In order to determine the constants of the twelve evaluated theoretical mathematical models, a regression analysis was realised nonlinear. According to this analysis and for the conditions in which the experiences were realised, one concludes that the model that it describes of more suitable way to the kinetic one of drying he is the one of Midilli - Kucuk. During the accomplishment of the experiences temperature data were released, solar radiation and humidity. Are to curves of radiation, temperatures and humidities obtained during the days of drying.

Keywords: solar drying, drying kinetics, thin-layer drying, parsley drying.