

SIMULACION DEL PROCESO DE SECADO DE PRODUCTOS FRUTIHORTICOLAS UTILIZANDO EVAPORACION DE AGUA EN FLUJO DESCENDENTE

Miguel Condorí¹ Luis Saravia Ricardo Echazú

INENCO²

Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, (4400) Salta.
Fax: (087) 251034.

Adolfo Iriarte³ Victor Garcia

INENCO, Catamarca⁴
Mtro. Quiroga 93, (4700) Catamarca.

RESUMEN

Se presenta un sistema evaporativo consistente en un flujo de agua descendente a través de una tela del tipo alpillera. El sistema puede ser utilizado para simular las curvas de secado de productos agrícolas. Se realiza el balance de energía para la película de agua y se adopta un modelo físico para su resolución. Se presentan también las medidas en laboratorio para determinar el coeficiente de transferencia de masa, y finalmente los resultados de la simulación.

INTRODUCCION

Las experiencias realizadas hasta el presente indican que la puesta a punto de los secaderos solares de tamaño semi-industrial exige un tiempo prolongado de pruebas con productos, lo que ocasiona un costo adicional importante.

Para el diseño y ajuste de los secaderos es necesario medir las variables características del secado y la pérdida de peso de productos testigos a lo largo del día. Esta tarea es difícil de llevar a cabo cuando el secadero está cargado y requiere una gran inversión de tiempo.

En un trabajo anterior [1] se utilizaron bandejas de agua para ajustar un prototipo de secadero solar, lo cual soluciona en parte el primer problema pero no así el segundo. Este método requiere mucho cuidado en el manejo de las bandejas para evitar el derramamiento de agua y la medición del nivel de agua evaporada en bandejas testigos solo es viable para aquellas de fácil acceso, lo cual no siempre es representativo del comportamiento general del sistema. Además, la superficie de agua libre como producto presenta una resistencia al secado constante. Este comportamiento no se corresponde con ningún producto real y todavía están en etapa de desarrollo las correlaciones que permitan adaptar los resultados.

Para evitar las pérdidas del producto durante el proceso de ajuste del secadero y proporcionar una medida continua de las variables involucradas en el proceso se construyó un sistema evaporativo que simula el comportamiento en el secadero del producto agrícola de interés.

¹Becario del CONICET

²Instituto Unsa - CONICET

³Miembro de carrera del CONICET

⁴Convenio UNSa - UNCa - CONICET

El sistema consiste en exponer al paso del aire caliente del secadero una superficie porosa por donde circula en flujo descendente una lámina delgada de agua. En el trayecto de contacto entre la lámina de agua y el aire caloportador se establecen fenómenos de transferencia de masa y calor. Por variar el caudal o la temperatura del agua se consigue modificar los coeficientes de transferencia y en consecuencia el flujo de evaporación.

En el presente trabajo se presenta la modelización del sistema evaporativo. Como así también las medidas del caudal evaporado obtenidas en laboratorio para distintos caudales de entrada y temperaturas.

ENSAYOS CON TELA ALPILLERA

Un esquema del sistema ensayado en laboratorio se muestra en el gráfico .

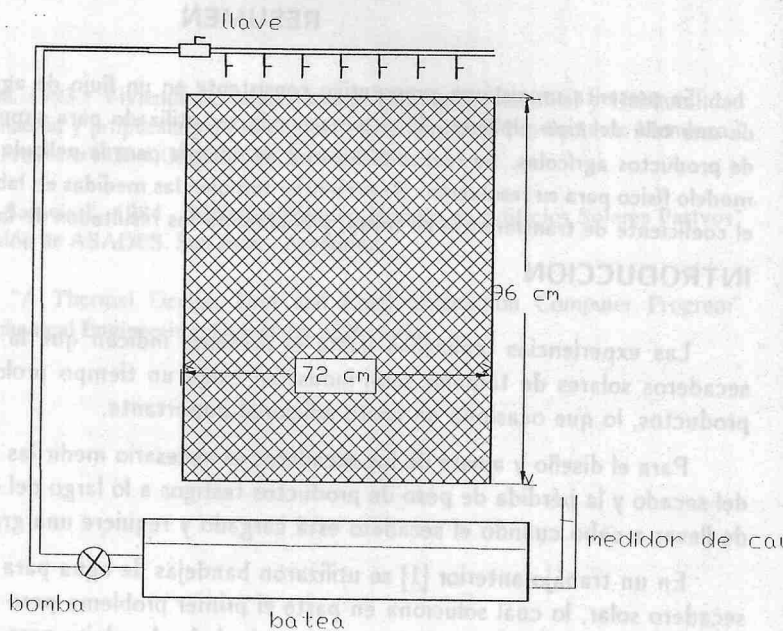


Figura 1: Esquema del sistema evaporativo

Este consistió en una tela alpillera por la cual se hizo descender en forma continua a través de cinco llaves reguladas, el agua proveniente de una batea del tipo baño Lauda, en donde también se recogió el agua remanente que escurría de la tela. La cantidad de agua evaporada se midió mediante la observación de la altura de una columna exterior que se comunica con la batea. Esta estuvo tapada durante la experiencia, permitiéndose solo el reingreso del agua escurrida a través de una canaleta de plástico. Con este sistema se midió el agua evaporada por la tela variando la temperatura del baño Lauda y también variando el caudal de entrada. Los resultados se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

Se observa claramente que la eficiencia del sistema decae con el aumento del caudal de entrada y que los valores más altos se obtienen con caudales bajos y temperatura de

entrada alta. Se observa también que cuanto más baja es la temperatura más importante es la fricción que determinan el paso de flujo laminar a turbulento.

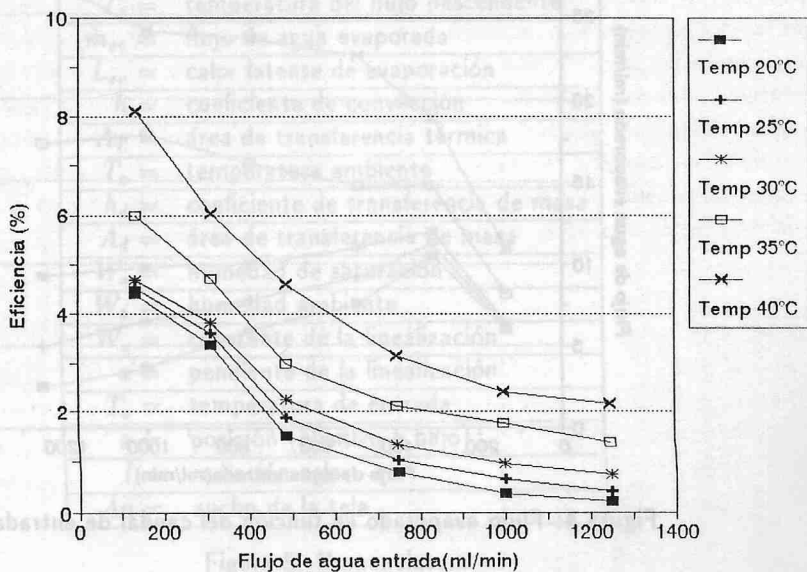


Figura 2: Variación de la eficiencia con el caudal de entrada

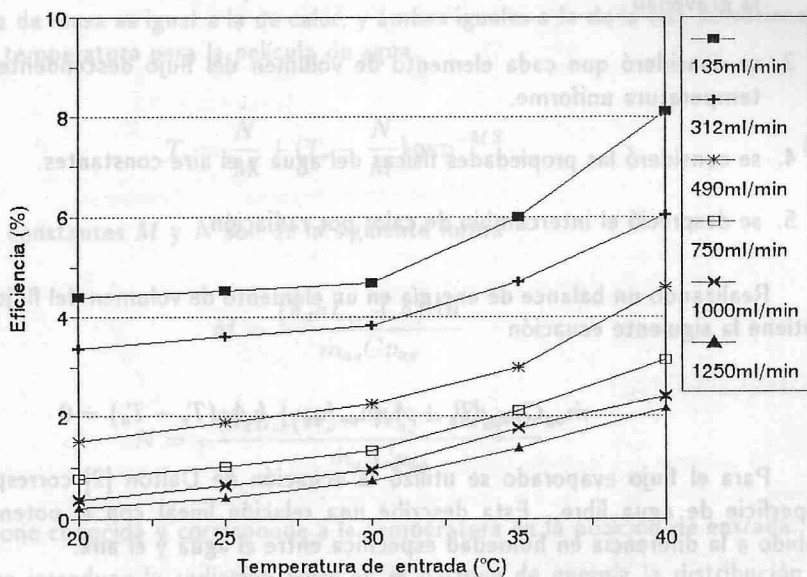


Figura 3: Variación de la eficiencia con la temperatura de entrada

MODELO FISICO

Para la obtención de un modelo físico se realizaron las siguientes hipótesis de trabajo

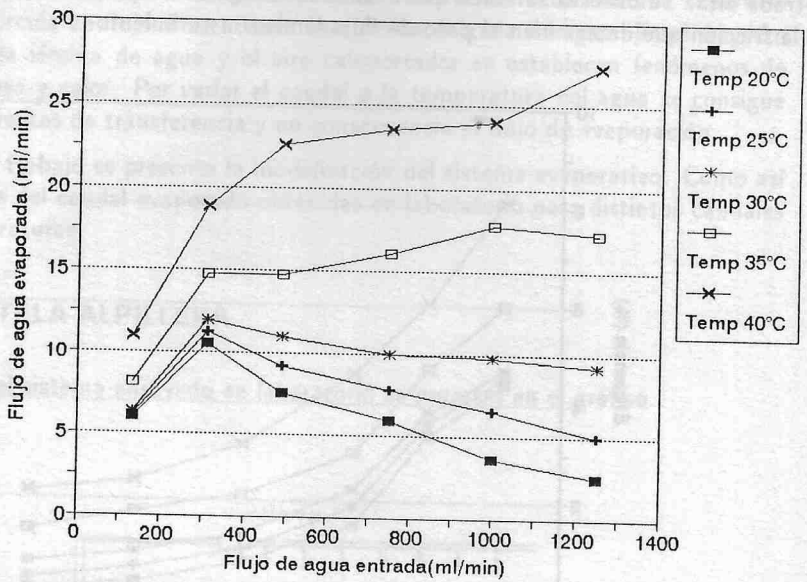


Figura 4: Flujo evaporado en función del caudal de entrada

1. se consideró régimen estacionario
2. se consideró un modelo unidimensional con la posición (z) positivo en la dirección de la gravedad
3. se consideró que cada elemento de volumen del flujo descendente se encuentra a temperatura uniforme.
4. se consideró las propiedades físicas del agua y el aire constantes.
5. se despreció el intercambio de calor por radiación

Realizando un balance de energía en un elemento de volumen del flujo descendente se obtiene la siguiente ecuación

$$\dot{m}_{a,g} C_{p,a,g} dT_z + \Lambda_d \dot{m}_{ev} L_{ev} + h \Lambda_T (T_z - T_a) = 0 \quad (1)$$

Para el flujo evaporado se utilizó la ecuación de Dalton [2] correspondiente a una superficie de agua libre. Esta describe una relación lineal con el potencial evaporativo debido a la diferencia en humedad específica entre el agua y el aire.

$$\dot{m}_{ev} = h_d (W_s(T_z) - W_a) \quad (2)$$

La humedad de saturación, que depende de la temperatura del fluido, se linealizó con un buen ajuste para pequeños intervalos de temperatura.

$$W_s = W_o + aT_z \quad (3)$$

\dot{m}_{ag}	=	flujo másico del agua
Cp_{ag}	=	capacidad calorífica del agua
T_z	=	temperatura del flujo descendente
\dot{m}_{ev}	=	flujo de agua evaporada
L_{ev}	=	calor latente de evaporación
h	=	coeficiente de convección
A_T	=	área de transferencia térmica
T_a	=	temperatura ambiente
h_d	=	coeficiente de transferencia de masa
A_d	=	área de transferencia de masa
W_s	=	humedad de saturación
W_a	=	humedad ambiente
W_o	=	constante de la linealización
a	=	pendiente de la linealización
T_o	=	temperatura de entrada
z	=	posición (positivo a bajo)
I	=	radiación solar
An	=	ancho de la tela

Figura 5: Nomenclatura

Resolviendo el sistema formado por las ecuaciones 1, 2 y 3, y considerando que el área de transferencia de masa es igual a la de calor, y ambas iguales a la de la tela se obtiene la distribución de temperatura para la película de agua.

$$T_z = \frac{N}{M} + (T_o - \frac{N}{M}) \exp^{-MZ} \quad (4)$$

donde las constantes M y N son de la siguiente forma

$$M = \frac{(h_d a L_{ev} + h) An}{\dot{m}_{ag} Cp_{ag}}$$

$$N = - \frac{(h_d L_{ev} (W_o - W_a) - h T_a) An}{\dot{m}_{ag} Cp_{ag}}$$

T_o se supone conocida y corresponde a la temperatura en la posición de entrada.

Cuando se introduce la radiación solar en el balance de energía la distribución de temperatura corresponde a la siguiente ecuación.

$$T_z^* = T_z + \frac{An \cdot I}{\dot{m}_{ag} Cp_{ag} \cdot M} (1 - \exp^{-MZ}) \quad (5)$$

En la figura 5 se especifica la nomenclatura utilizada.

RESULTADOS DE LA SIMULACION

Se construyó un programa en QB45 utilizando el modelo detallado anteriormente y se lo corrió dando como entrada las mismas condiciones para las variables climáticas y de funcionamiento que se tuvieron en el laboratorio. En un primer paso se determinó el coeficiente de transferencia de masa que mejor se ajusta a los resultados experimentales. El ajuste para dos tande de valores se muestra en la figura 6 y en la figura 7 se muestra los valores obtenidos para todos los casos. Luego se tomaron los valores obtenidos para h_d y se simuló un proceso con temperatura de entrada $40^\circ C$, sin radiación solar, comenzando con un caudal de entrada de 1250 ml/min y reduciendo luego a 1000 ml/min, y así sucesivamente a intervalos de una hora. El resultado se muestra en la figura 8.

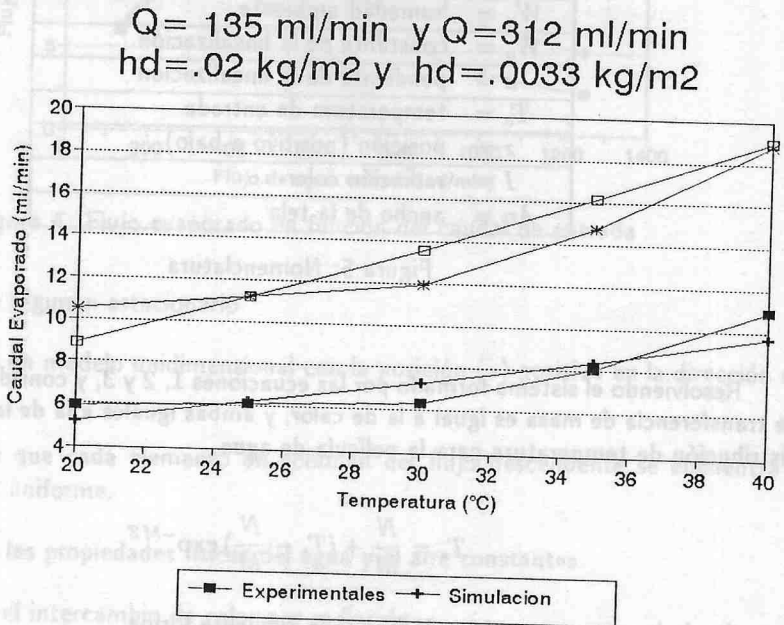


Figura 6: Ajuste por software del coeficiente de transferencia de masa

CONCLUSIONES

El sistema presentado mostró ser útil para variar la curva de evaporación. La curva obtenida es similar a la del proceso de secado de productos agrícolas. Si bien en este trabajo se variaron las condiciones del flujo de entrada cada hora, determinando los tiempos adecuados se puede simular una curva de secado en particular.

Un sistema automático se completaría con una Computadora y una tarjeta de toma de datos para la medición de temperatura, humedad y altura de agua en la batea. La tarjeta también se encargaría del control del caudal de entrada, por medio de una válvula del tipo senoidal y del funcionamiento de la bomba de recirculación de agua.

Posteriormente, contando con un banco de datos que contenga mediciones de la variación del contenido de agua de un determinado producto con el tiempo, en condiciones

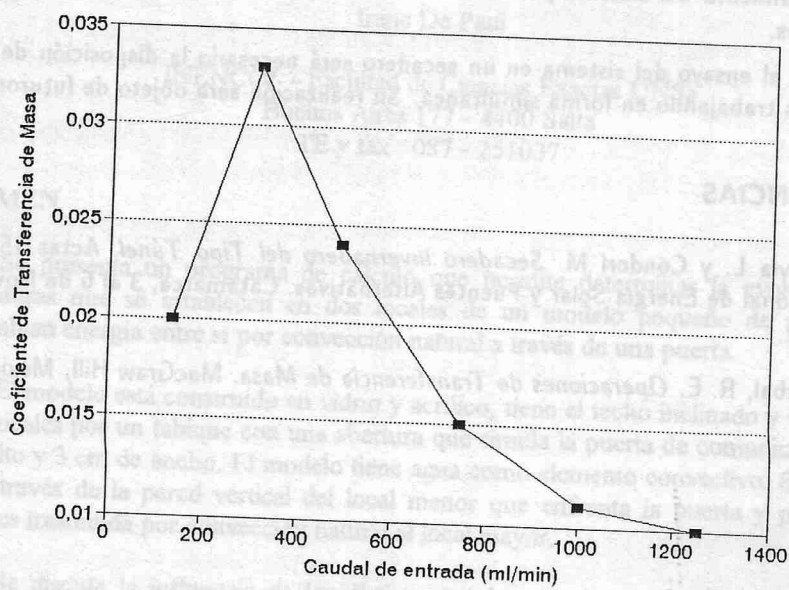


Figura 7: Coeficiente de transferencia en función del caudal de entrada

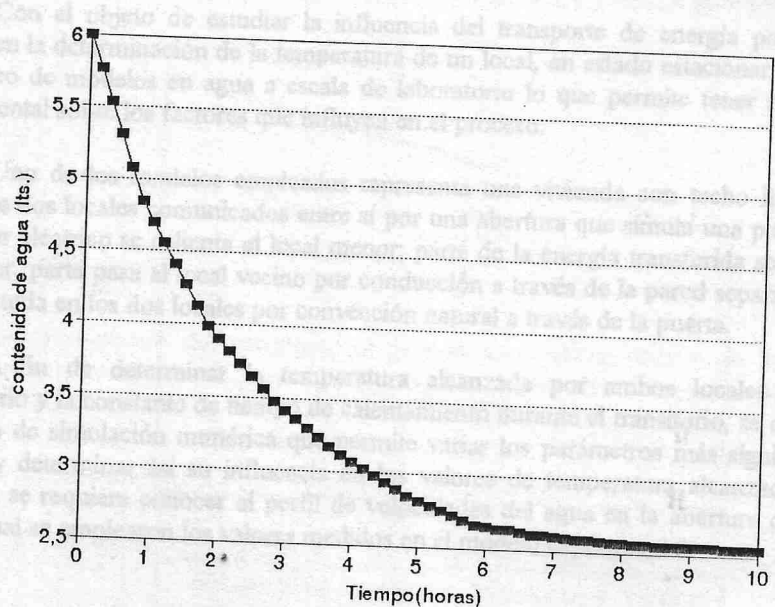


Figura 8: Simulación de un proceso de secado

estacionarias y parametrizado con la radiación se puede pensar que un software auto regule el funcionamiento del sistema para simular el comportamiento del secado en condiciones cambiantes.

Para el ensayo del sistema en un secadero será necesario la disposición de varias de estas telas trabajando en forma simultanea. Su realización sera objeto de futuros trabajos.

REFERENCIAS

- 1. Saravia L. y Condorí M. *Secadero Invernadero del Tipo Túnel*. Actas 15º Reunión Nacional de Energía Solar y Fuentes Alternativas. Catamarca, 3 al 6 de Noviembre de 1992.
- 2. Treybal, R. E. *Operaciones de Transferencia de Masa*. MacGraw Hill, México, 1981.

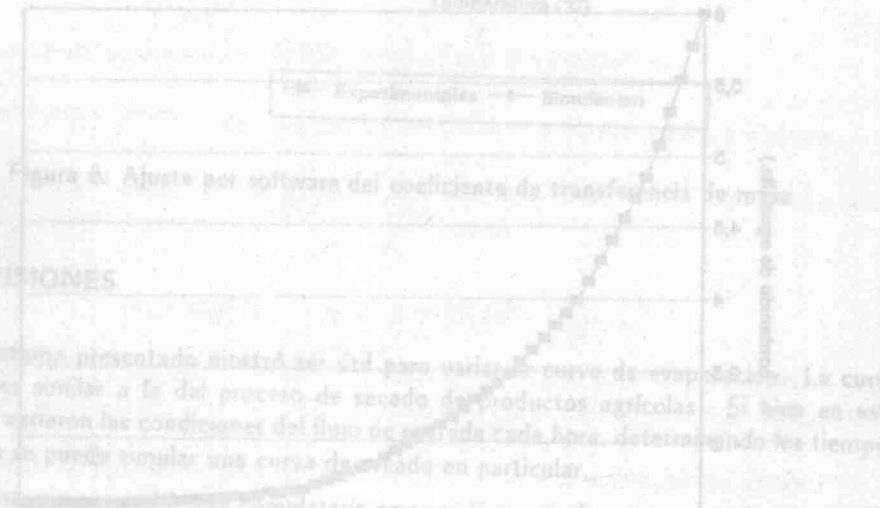
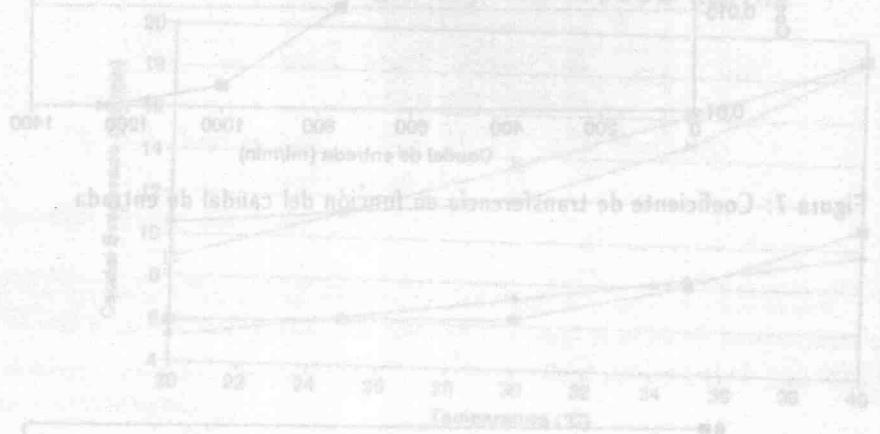


Figura 6. Ajuste por software del coeficiente de transferencia de masa

CONCLUSIONES

El sistema presentado mostró ser útil para variar la curva de evaporación. La curva obtenida es similar a la del proceso de secado de productos agrícolas. Si bien en este trabajo se usaron las condiciones del flujo de entrada cada hora, determinando los tiempos adecuados se puede simular una curva de secado en particular.

Un sistema automatizado de control con un computador y una tarjeta de toma de datos para la medición de temperatura, humedad y altura de agua en la balsa. La tarjeta también se encargará del control del caudal de entrada, por medio de una válvula del tipo solenoide y del funcionamiento de la bomba de agua.

Posteriormente, contando con un banco de datos que contenga mediciones de la variación del contenido de agua de un determinado producto con el tiempo, en condiciones