

PERFORMANCE DEL SECADO SOLAR DE HIERBAS AROMATICAS EN PROCESOS CONVECTIVOS NO FORZADOS

B.Zimberg, U.Sica, J.Mathisson
Dpto.Ing.Alimentos, Instituto de Ing.Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.
CC. 30 Montevideo, Uruguay . bzimberg@fing.edu.uy

RESUMEN

Este trabajo presenta la comparación en la performance de dos secaderos solares que operan sin flujo forzado. Se midieron las variables de interés en el proceso y los resultados se expresaron en base a índices. El secadero con techo mixto y un diseño de chimenea interno es el más eficiente presentando zonas convectivas y radiativas convectivas. Se realizaron pruebas adicionales con rotor de viento con resultados no aceptables.

Palabras clave: Secaderos Solares. Secado de hierbas

INTRODUCCION

El presente trabajo es parte del proyecto Secaderos Solares para Hierbas Aromáticas que fue desarrollado en la Cooperativa Calmañana, situada en el Dpto. de Canelones, Uruguay . Fue financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica dentro del programa de Proyectos de vinculación con el sector productivo.

El objetivo del proyecto ha sido la mejora de los diseños de secaderos solares existentes en la cooperativa y su uso eficiente de modo de aumentar la velocidad de obtención de producto seco, extender el período de trabajo de los secaderos y mantener la calidad del producto en condiciones reproducibles.

Con esa finalidad se realizó el seguimiento de las variables de interés en el proceso de secado para los equipos disponibles y sus modificaciones. Se aplicaron los resultados obtenidos en la mejora de la performance de los equipos y en la formulación de una técnica de trabajo adecuada. Paralelamente se realizó el modelado fenomenológico de la cinética de secado y el modelado de los secaderos.

DESARROLLO

Descripción del proceso

El área de trabajo se encuentra en una zona de 800m por 400m aprox.; comprende cuatro sitios situados en el Paraje Pedernal, zona cercana a la ciudad de Tala, figura 1. Se presentarán resultados para los secaderos 1 y 6. Entre 1998 y 1999, la producción fue del orden de los 420 kg de hierba seca utilizando dos secaderos en un período de 7 meses (octubre-abril). La mayor producción ocurre entre los meses de noviembre y diciembre. La producción media mensual por secadero resulta ser 30 kg de producto seco.

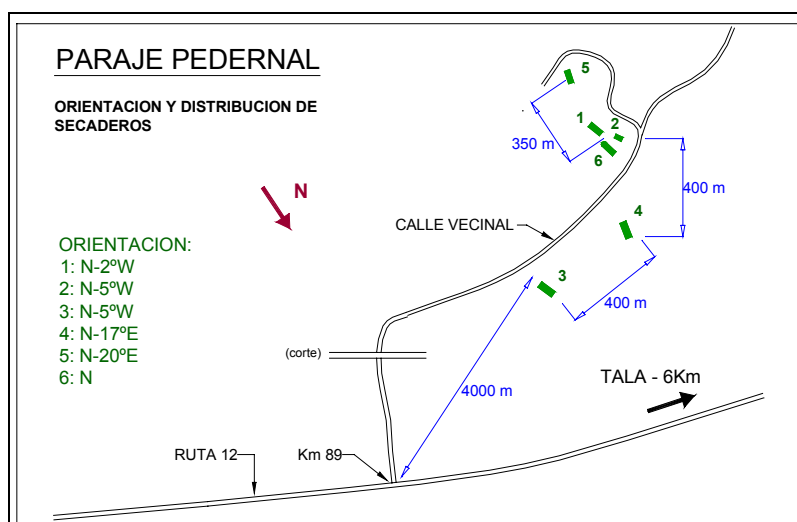


Figura 1. Zona de trabajo y ubicación de secaderos.

La tabla 1 presenta las principales hierbas procesadas e indica en que condiciones son secadas. La hierba es cosechada y secada; no se realizan tratamientos de acondicionamiento previos. Durante el proceso difunden productos aromáticos desde la rama a la hoja. Los productos mayoritarios son orégano, romero, tomillo, estragón, albahaca y ajedrea (procesados en rama), ciboulette y ciboulette ajo (procesados en hojas).

La experiencia indica que el ciboulette seca más rápido que el perejil y el tomillo. El romero seca con mayor lentitud. El estragón es la especie más delicada. Se estropea con facilidad por acción de la temperatura, humedad y radiación directa. En la mayoría de los productos, temperaturas mayores a 40 C llevan a la pérdida de aroma y de color, generándose zonas amarronadas.

Variables monitoreadas

Adquisición automática: Temperatura, humedad relativa, radiación global, radiación global UV

Adquisición manual: Masa de las muestras, velocidad, temperatura, humedad relativa.

El contenido de humedad del producto puede expresarse por unidad de masa total (base húmeda) o por unidad de masa seca (base seca). Debido a que la masa total cambia durante el secado, es conveniente expresar el contenido de humedad en base seca a efectos del modelado y luego de los ajustes volver a expresarlo en base húmeda ya que representa un parámetro más tangible.

$$M = (m - m_0 \cdot b) / (m_0 \cdot b) \quad (1)$$

M fracción de humedad en base seca.

m masa de producto a tiempo t.

m0 masa de producto a tiempo cero.

b base seca (cociente de la masa de producto secado a 104 C y la masa inicial)

Trabajo en campo

El trabajo en campo comprendió el monitoreo del proceso de secado en uno o más secaderos en paralelo.

Cada jornada de medición abarcaba los siguientes pasos:

- a) Planificación del día de secado en función del clima (evitando días lluviosos) y la disponibilidad de hierba ya que el comienzo de las medidas debía coincidir con la carga del secadero y no interferir con el trabajo de rutina. En oportunidades se coordinó cargar dos secaderos con similar hierba el mismo día.
- b) Instalación de los sensores en los equipos y puesta a punto de equipos.
- c) Adquisición de datos automáticos cada 5 minutos. Pesada de muestras cada 1 hora aprox. complementando con la medición manual de variables. Ajuste de la ventilación cuando correspondiese.
- d) Cierre del secadero y descarga de datos de los adquisidores.
- e) Pasaje de datos a planilla electrónica.
- f) Revisión, elaboración y análisis.

Secadero 1

El esquema y dimensiones (m) se indican en la figura 2. El diseño de la chimenea es externo. Presenta un par de bandejas fijas de durabor, piso sin aislación. La entrada de aire se realiza por termosifón a través de un par de alerones frontales o por la puerta.

La aplicación del test de Kruskal Walllis (estadística no paramétrica) a las curvas de secado monitoreadas en 6 secciones del secadero indica que provienen de poblaciones idénticas para un error de 5%. Por lo tanto puede considerarse una única curva que ajuste la cinética de secado en todas las posiciones de la cámara.

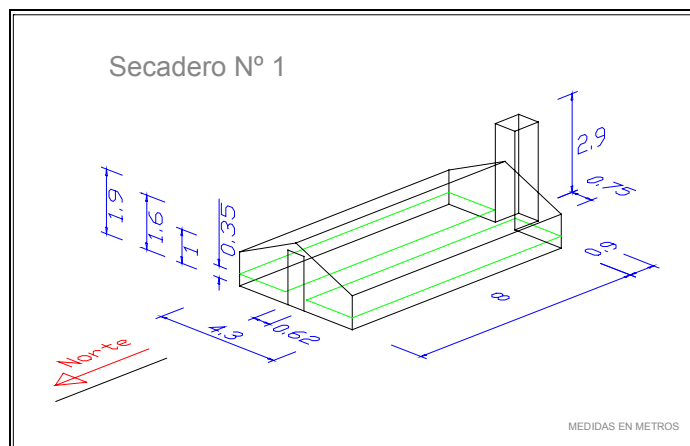


Figura 2. Secadero 1

Las curvas de temperatura y humedad no muestran mayor diferencia espacial. Esto puede atribuirse al bajo caudal de aire que circula.

Secadero 6

El secadero 6 se construyó buscando mejorar la performance del secadero 1. Las modificaciones propuestas no consideran fuentes convencionales de energía como ser consumos de energía eléctrica por ventilación. Esto responde a razones económicas de modo que las soluciones buscan aumentar la circulación aumentando el efecto termosifón y disminuyendo las pérdidas de carga.

La figura 3 representa el equipo. La armadura es de madera, material disponible en el área.

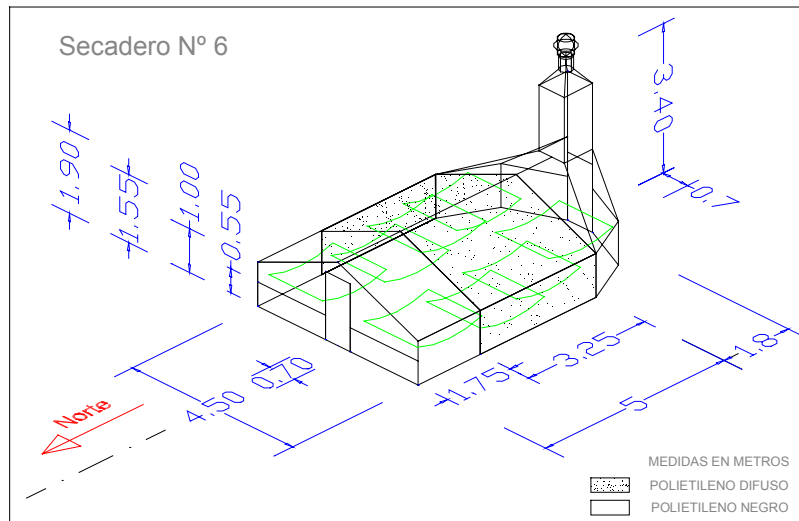


Figura 3. Secadero 6

Chimenea

A diferencia del secadero 1 la chimenea está dentro de la cámara de secado. A partir de los 5 metros, la cámara comienza a curvarse hasta cerrarse en la chimenea. Se busca disminuir la pérdida de carga por efecto de contracción. El aire ingresa por dos alerones al frente o por la puerta dependiendo de las necesidades de ventilación. La chimenea queda enfrentada a la puerta de modo que si la puerta queda cerrada, el aire circula hacia la chimenea a través de las bandejas. Está pintada con negro mate ya que de acuerdo a simulaciones previas sobre el comportamiento de la chimenea en base a referencias (Bala y Woods, 1994; Ekechukwu y Norton, 1995), un aumento de la temperatura respecto a la ambiente aumentará el tiro y por lo tanto tenderá a disminuir la humedad en la cámara y aumentar el caudal de secado.

Bandejas

Se dispuso de 20 m² de superficie de bandeja. Las bandejas son de material liviano, aprox. 2m por 1.5m, tela mosquitero, soportadas por bastidores de madera que cuelgan de la estructura del secadero a diferentes alturas.

El secadero 1 presenta un par de bandejas fijas de durabor. La modificación permite mejorar la manipulación del producto y la circulación del aire por abajo y por arriba de la bandeja.

Techo

El techo está construido con dos clases de polietileno:

La primer y tercer zona presentan polietileno negro difuso de 150 micras de espesor

La segunda zona es de polietileno difuso anti uv de 150 micras de espesor.

Cámara

La zona intermedia permite la acción de la radiación y convección sobre el producto. Las temperaturas de la hierba son mayores, la velocidad de secado es mayor; en días de alta radiación se generaron manchas marrones debido a procesos oxidativos (orégano, estragón).

Por medidas de radiación global fuera y dentro del secadero se determinó que la radiación exterior incidente se transmite en un 80% bajo forma difusa. Los niveles de radiación UV dentro del secadero caen más de un 90% respecto a valores exteriores. El espesor permite una mayor duración (estimado en dos años) frente al convencional. Se utilizó el material de mayor espesor disponible con un rendimiento de 6 m²/kg.

De este modo el secadero presenta una zona convectiva, le sigue una zona de radiación- convección y a continuación otra zona convectiva.

Piso

Se utilizó paja, material aislante disponible en el área.

Costo del secadero

El costo fue del orden de los 300 dólares. Los materiales incluyeron polietileno, alfajías, tirantes y tapajuntas, clavos y sulfato de cobre para tratar la madera.

El costo del secadero incluyó una chimenea de madera forrada con polietileno negro. Los primeros ensayos se realizaron en noviembre de 1999.

Chimenea modificada y extractor.

De acuerdo a la simulación del comportamiento de la chimenea, se lograría un mayor tiro por aumento de temperatura del aire en la chimenea y en segundo lugar por aumento de altura. Se decidió verificar si la instalación de un rotor eólico contribuiría a aumentar el caudal respecto a los valores del termosifón. Esto llevó a cambiar la chimenea por una estructura metálica que soportara al rotor eólico. Este rotor, de aluminio, se montó sobre la chimenea con una altura total de 3.40 m. El diámetro de la succión mide 25 cm. La chimenea se pintó con negro mate. El costo de la chimenea y rotor fue del orden de los 250 dólares.

Tejido negro "sombritis".

En diciembre se instaló fuera, sobre la zona transparente, un tejido plástico negro conocido en el área como tejido "sombritis" para evitar el secado intenso en la zona de radiación convección.

Índices

A efectos comparativos se han definido los siguientes parámetros (eficiencias) :

El **índice de energía** se define como el promedio de los valores resultantes del cociente entre la energía utilizada para evaporar la humedad de la hierba calculada entre pesada y pesada y la energía solar global disponible medida por piranómetro. El cálculo se realiza para el intervalo de secado dado; en los ensayos presentados el intervalo total abarcó 8 horas a partir de la hora 10 (a partir de la hora 12 en el ensayo del día 20). Se ha integrado mediante trapecios con un intervalo de 5 minutos.

El **índice de masa** es el porcentaje en base húmeda de la humedad eliminada (para el intervalo de secado dado).

El **índice de energía específico** es el índice de energía por kg de carga y permite lograr un parámetro que en principio es independiente de la carga.

El **índice densidad de masa** es el cociente entre el índice de masa y la superficie proyectada del secadero en plano horizontal.

Las últimas tres columnas de la tabla 2 contienen los valores de flujo másico calculado en la boca inferior de la chimenea por medidas de velocidad, el flujo másico calculado por balance de masa y el cociente entre ambos valores.

La performance de un secadero respecto a otro surge de la comparación de los índices presentados.

Comparación de secaderos 1 y 6

Para comparar la performance de los secaderos se realizaron ensayos en paralelo.

Las tablas 1 y 2 presentan los resultados para los días indicados.

El área indicada en la columna 3 de la tabla se refiere a la superficie proyectada en plano horizontal y se ha utilizado como estimación del área de absorción de radiación. El área en el secadero 6 es inferior al indicado debido a la curvatura (figura 3)

Las columnas siguientes indican la carga inicial de producto, la radiación promedio calculada por integración

en el período de secado, humedad relativa y temperatura promedio en el ambiente y en la cámara. Para la cámara, los datos representan un promedio temporal y espacial.

Temperaturas y Humedades

Los secados de los días 14, 15, 20 y 21/11 fueron realizados sin tejido sombritis.

Para el secado del 16/12 se cubrió la zona transparente con tejido sombritis y se instaló la chimenea metálica con el extractor eólico.

En los ensayos realizados, los resultados muestran que las temperaturas promedio del aire son similares en ambos secaderos. La humedad relativa media es ligeramente superior en el equipo 6. El secadero 6 muestra ser más eficiente, especialmente en el secado del segundo día.

La tabla 3 muestra el apartamiento relativo en los índices de ambos equipos.

$$I_{rel} = (I_6 - I_1) / I_1 * 100 \quad (2)$$

Los valores de la tabla 3 muestran que en ausencia de tejido sombritis la eficiencia del secadero 6 supera a la del equipo 1.

El equipo 6 absorbe más energía por unidad de masa y evapora más agua por unidad de área que el secadero 1.

En presencia del tejido sombritis las diferencias se acortan ya que se minimiza la zona radiativa convectiva . Particularmente el secadero 1 supera al 6 el día 16/12.

Flujo de secado y flujo en la chimenea

El caudal medido en la boca de la chimenea representa el caudal circulante por el equipo y es del orden de los valores indicados (Saravia et al.), 500 a 900 l/s . Este volumen aumenta su temperatura en 10 grados aproximadamente según la tabla 1. Es posible calcular una eficiencia de colector definida como el cociente entre el cambio instantáneo de la entalpía del aire y la potencia solar disponible . Los resultados son del orden del 20% y son similares a los de la referencia indicada.

El flujo másico de secado es inferior al disponible y esto es atribuible a zonas “muertas” dentro del secadero. El aire ingresa normalmente por los alerones inferiores y circula hacia la chimenea con mayor velocidad en las zonas de mayor temperatura cercanas al techo. El secadero 1 tiene dos bandejas, mesadas de durabor fijas . En el secadero 6 puede variarse la ubicación de las bandejas de modo de lograr un mayor caudal de secado.

En ausencia del extractor eólico los caudales medidos en la chimenea son similares en ambos equipos. El efecto del extractor no ha sido el esperado; aunque gira continuamente, el caudal resultante en el secadero 6 es inferior al del 1 (la instalación requirió de una reducción en el tope de la chimenea) . Sin embargo el caudal de secado es mayor en la mayoría de los ensayos.

Comentarios respecto a los índices

Para el cálculo de los índices se consideró igual período de secado. Los valores de índice de energía del secadero 6 serán aún mayores si se considera el cálculo para igual índice de masa . Por ejemplo, para el ensayo del 20 de noviembre, la humedad final en la muestra del secadero 1 se alcanzó a las 19:30.

Fecha	Sec	Area horiz.	Carga	Radiación	R amb	R amb	T amb	T	Ind. Energ	Ind. Masa	Comentario
		m2	Kg	W/m2	%	%	C	C	%	%	
20/11	1	34	14	688	45	34	23	31	1.42	25.7	Ajedrea
20/11	6	31	13	708	43	37	23	31	1.49	31.9	Ajedrea
21/11	1	34	14	823	43	31	22	31	0.55	17.6	Ajedrea
21/11	6	31	13	812	44	35	22	31	0.55	16.0	Ajedrea
12/2	1	34	13	553	41	37	32	36	0.91	14.0	Romero
12/2	6	31	16	573	41	38	32	36	1.31	14.1	Romero.
13/2	1	34	13	600	42	35	25	31	0.48	8.6	Romero
13/2	6	31	16	575	42	38	24	31	0.65	10.1	Romero

Tabla 1. Parámetros de secado, secaderos 1 y 6.

Esto implica un índice de masa de 25.7 (ver tabla). El secadero 6 logra este índice a las 15:15 aproximadamente. A partir de esa hora el secado pasa a estar fuertemente controlado por la difusión en el material. En estas condiciones, para dicho índice de masa el secadero 6 logra una eficiencia de 2.24 frente a 1.49 para el secadero 1. El día 21 la humedad final del secadero 1 (hora 17:50) se alcanza a las 13:55 en el equipo 6.

Fecha	Sec	Ind.Energ Esp.	Ind. Dens.Masa	Flujo chim	Flujo secado	Rel.Flujos	Comentario
		Kg-1	m-2	kg/s	kg/s	%	
20/11	1	0.101	0.747	0.74	0.140	18.9	Ajedrea
20/11	6	0.115	1.042	0.75	0.053	7.1	Ajedrea
21/11	1	0.039	0.512	0.88	0.032	3.6	Ajedrea
21/11	6	0.042	0.523	0.87	0.040	4.6	Ajedrea
12/2	1	0.070	0.412	0.56	0.027	4.8	Romero
12/2	6	0.082	0.455	0.18	0.032	17.9	Romero.
13/2	1	0.037	0.253	0.82	0.024	2.9	Romero
13/2	6	0.041	0.326	0.23	0.014	6.0	Romero

Tabla 2. Parámetros de secado adicionales , secaderos 1 y 6.

Fecha	Ind.Energía Esp.	Ind.Dens.Masa
14/11	8	25
15/11	26	11
20/11	13	40
21/11	8	2
16/12	-8	-1
12/2	18	10
13/2	10	29

Tabla 3. Apartamiento relativo, secaderos 1 y 6.

La figura 4 presenta las curvas en base seca para el ensayo del 20 y 21 de noviembre.

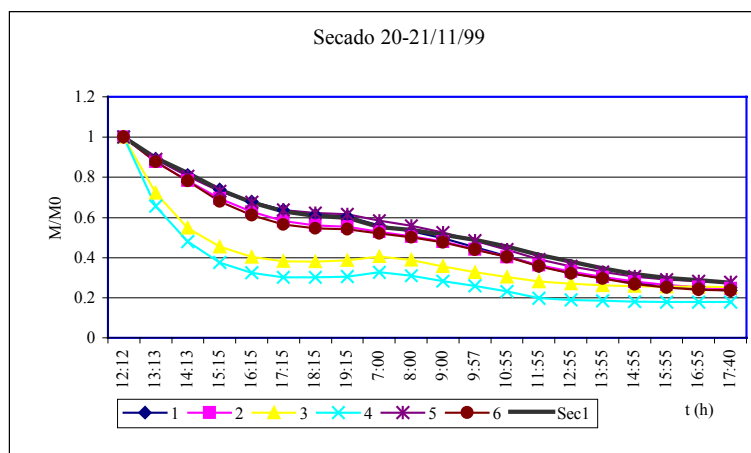


Figura 4 Ajedrea, 20-21/11/99.

El secado se realizó en ambos secaderos con puerta cerrada y alerones abiertos. La carga se cosechó y distribuyó en el secadero a la hora 10 am. El secado comenzó al mediodía y a las 18:30 del primer día se cerró el secadero y volvió a abrirse a la hora 7 del día siguiente para terminar a las 18 horas.

De los datos se concluye que la zona 3 y 4 con polietileno transparente difuso logró una caída de masa en base húmeda entre 48 y 53%, la zona negra (muestras 1,2,5,6) entre 46 y 49% y el secadero 1 un valor de 46%.

El diferente comportamiento entre la zona radiativa y convectiva del secadero 6 (sin tejido sombritis) queda corroborado en la aplicación del test de Kruskal Wallis. Se muestra que las muestras provienen de poblaciones diferentes durante el primer día de secado, no así durante el segundo día.

CONCLUSIONES

El diseño del secadero 6 logra mayor velocidad de secado debido a la presencia de una zona radiativa convectiva y también debido a la menor pérdida de carga debida a la geometría, la cual incluye el diseño y disposición de bandejas. Se requiere una modificación del funcionamiento del extractor o su eliminación. Es razonable aumentar el número de bandejas. El secado de hierbas sensibles durante el verano puede realizarse en la zona convectiva o aplicando el tejido sombritis. El secadero 6 consume más energía por unidad de carga y evapora más agua por unidad de área.

ABSTRACT

This paper compares the performance of two solar dryers working without forced flux. Proper variables were measured during parallel studies and the results expressed by mean of indexes. The dryer with mixed roof and interior chimney is the most efficient, presenting convective and radiative-convective areas. Additional experiments with a wind turbine do not show successful results.

1. B.K. Bala and J.L. Woods (1994). Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice. *Solar Energy*, 53, N3, 259-266

2. O.V. Ekechukwu and B. Norton (1995). Design and Measured Performance of a Solar Chimney for Natural Circulation *Solar Energy Dryers. Journal of Solar Energy Engineering*, 118, 69-71

3. L. Saravia, R. Echazú, L. Zunino. Materiales en secadores solares. *Publicación de la Universidad Nacional de Salta*.