

SECADERO INVERNADERO DE DOBLE CAMARA

L. Saravia*, R. Echazú, L. Zunino** y M. Quiroga

INENCO+

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177

4400 Salta - Argentina

RESUMEN

Se describe un secadero-invernadero de circulación forzada en el cual se logra un aumento considerable de la capacidad de producción respecto a los secaderos-invernaderos usuales, mediante la utilización de una doble cámara que permite duplicar la frecuencia de carga del secadero. Se describen los resultados experimentales obtenidos con un prototipo de 50 m² de superficie, secándose distintos tipos de productos como ají, orégano, poroto, uva y pera.

También se presentan los resultados de experiencias realizadas con el fin de caracterizar el comportamiento térmico del sistema.

INTRODUCCION

El secadero-invernadero convencional está formado por una cubierta del tipo usado en invernaderos, dentro de la cual se colocan bandejas con el producto a secar. Existen varios ejemplos de uso de este tipo de sistema (1-3). La circulación de aire necesaria para eliminar la humedad, puede generarse por convección natural o forzada. Este sistema funciona por tandas y la radiación que llega se aprovecha al máximo durante el primer día de cada ciclo, en el cual el producto húmedo permite tener una buena evaporación. Durante los días siguientes, la evaporación baja al estar el producto semiseco, por lo que la energía recibida no se aprovecha con la mayor eficiencia posible.

A continuación se estudia una modificación del secadero-invernadero con convección forzada, en la que mediante el uso de una doble cámara se aprovecha mejor la energía disponible, duplicándose la capacidad de secado.

La figura 1 ilustra el principio de funcionamiento del sistema. El invernadero es dividido en dos partes A y B mediante un tabique transparente en el cual se coloca el ventilador axial que asegura la circulación de aire. En las dos cámaras se colocan bandejas con una superficie total igual al doble de la habitualmente utilizada en los secaderos de una cámara.

* Investigador del CONICET

** Becaria del CONICET

+ Instituto UNSa - CONICET

El funcionamiento del sistema se divide en dos semiciclos. Durante el primero la cámara B se carga con producto húmedo mientras que en la A se encuentra el producto semiseco de la carga anterior. El ventilador se conecta de manera que el aire circule primero por la A y luego por la B. Al cabo de la mitad del período total de secado, el producto semiseco se termina de secar, mientras que en la cámara B el producto está semiseco.

En ese momento se retira el producto de la A, se carga material húmedo en la misma y se invierte el sentido de giro del ventilador, con lo cual se comienza el segundo semiciclo de secado en el que el papel de las dos cámaras se ha invertido. Como se aprecia, en un ciclo de secado se logra cargar dos veces el secadero, duplicando su producción.

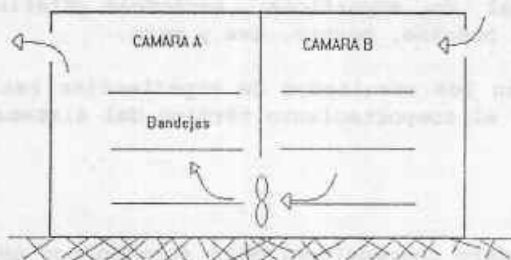


Fig. 1: Esquema del secadero-invernadero con cámara doble

Se ha construido y ensayado un prototipo de este secadero, discutiéndose en este trabajo los resultados obtenidos. Se analiza el funcionamiento general, determinando la distribución de radiación, captación de calor por el suelo, la evaporación y el balance total del sistema. Se han realizado secuencias de secado de diversos productos de la zona, siendo de particular interés el caso del orégano, poroto para semilla, ají y uva. Se presentan las curvas de secado para cada uno de ellos.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El secadero-invernadero está formado por una carpa de plástico de 10 m de largo por 5 m de ancho, con su longitud mayor orientada en la dirección este-este. La figura 2 muestra una sección de la misma. La estructura es de madera unida por piezas de hierro, dispuesta en arcos separados a 1.10 m entre sí. El lado sur está cubierto por una doble capa de plástico negro de 150 mic. entre las que se encuentra una aislación de 2 cm de poliestireno expandido. El techo y las paredes norte, este y oeste están cubiertos con una lámina de polietileno del tipo LDT. de 150 mic.

En su funcionamiento como secadero, la carpa está dividida en dos secciones como se muestra en la figura 1. En cada una de ellas se colocan las bandejas para el secado del producto. Las bandejas están

distribuidas en dos grupos de 1.50 m de ancho y 5 m de largo cada uno, ubicados junto a las paredes norte y sur, dejando un camino central para carga del producto. se dispone de 4 niveles de bandejas, con un area total de 60 m2 por cámara.

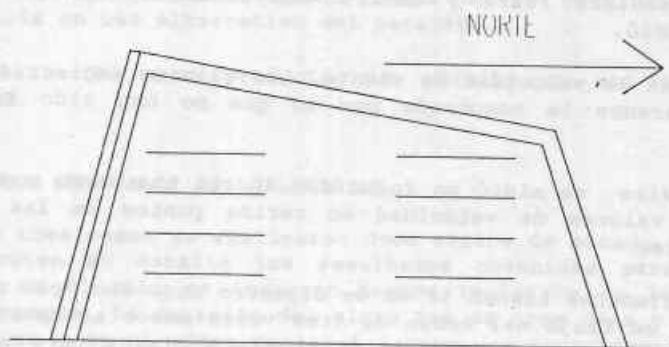


Figura 2

EQUIPO DE MEDIDA

Se instaló un datalogger con medida de temperatura de bulbo seco y húmedo, velocidad de viento y radiación solar. La distribución de los sensores se muestra en la figura 3, donde también se indican los números de identificación de los canales.

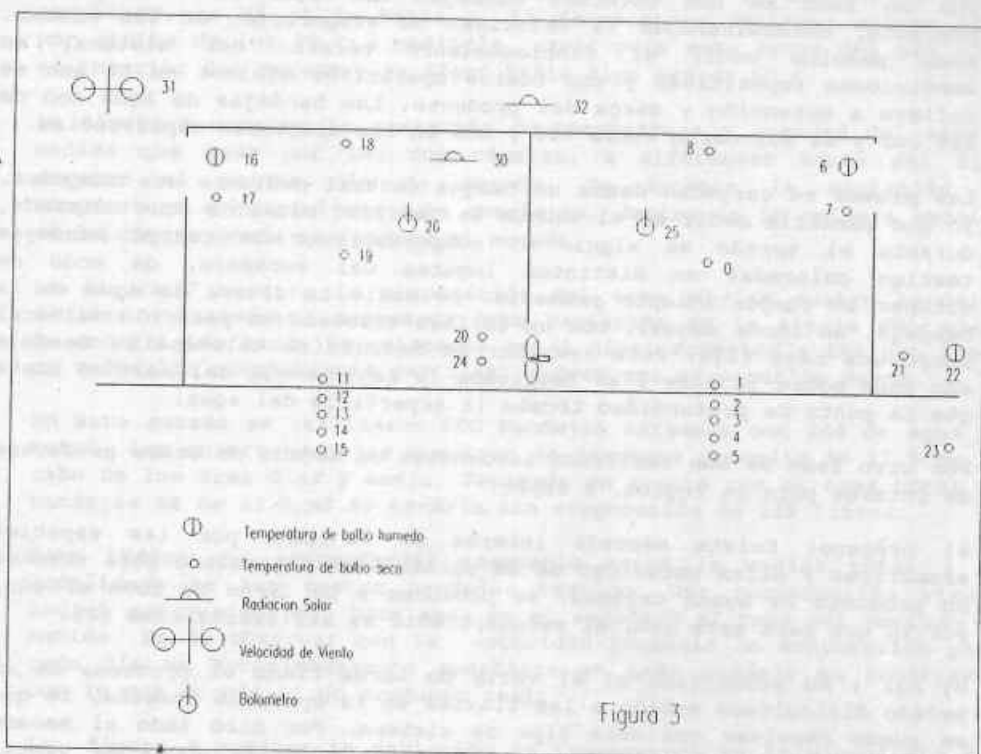


Figura 3

Los canales 0 a 26 corresponden a temperaturas medidas con termocuplas tipo T, algunas de bulbo húmedo y otras de bulbo seco, según se indica. Los canales 25 y 26 corresponden a bolómetros colocados en

cada sección del secadero. Estan hechos con una esfera hueca de cobre con la termocupla en el centro.

Los canales 30 y 32 son radiaciones totales sobre superficie horizontal, medidas fuera y dentro del secadero, con solarímetros Kipp-Zonnen CM10.

El canal 31 da la velocidad de viento. Los valores registrados fueron muy bajos durante la temporada por lo que no han sido tenidos en cuenta.

El flujo de aire se midió en forma manual con una sonda anemométrica TSI tomando valores de velocidad en varios puntos de las bocas de salida de aire.

Los dos ventiladores tienen 52 cm de diámetro cada uno, con motores de 0.75 CV. Dan un flujo del orden de tres veces menor al necesario, por lo que se colocó un variador de tensión a tiristor para ajustar el flujo.

PRODUCTOS TRATADOS

Durante la temporada de secado se han realizado dos tipos de experiencias:

Por un lado se han colocado bandejas con agua en el lugar del producto, determinándose la velocidad de evaporación en las mismas. Esto permite medir el funcionamiento térmico del sistema, en condiciones repetitivas y con costos operativos mínimos en lo que se refiere a obtención y carga del producto. Las bandejas de agua son de 224 cm² y se colocaron entre 600 y 800 en las distintas experiencias.

Las mismas se cargaban desde un tanque central mediante una manguera, lo que permitía medir en el tanque la cantidad total de agua colocada. durante el secado se siguió el comportamiento de cuatro bandejas testigo colocadas en distintos lugares del secadero, de modo de obtener un comportamiento promedio. se midió la altura de agua en la bandeja, en forma manual, con un calibre colocado en posición vertical sobre una base fija. Para realizar la medida, se colocaba la bandeja con agua sobre la base y se deslizaba la regla móvil del calibre hasta que la punta de profundidad tocaba la superficie del agua.

Por otro lado se han realizado secuencias de secado de otros productos de interes para la región, a saber:

a) Orégano: Existe marcado interes en la zona por las especies aromáticas y ellas necesitan de un secado bien controlado para obtener un producto de buena calidad. Se producen a lo largo de todo el año, por lo que para este uso, el secadero solo se utilizaría como tal.

b) Ají : Su producción en el valle de Lerma tiene el problema de un secado dificultoso debido a las lluvias en la época de cosecha, lo que se puede resolver con este tipo de sistema. Por otro lado el secado controlado y no en la planta, permite adelantar la época de venta, lográndose mejor precio.

c) Poroto para semilla: La disponibilidad de secaderos de bajo costo, permite encarar la producción de porotos para semilla en el valle de

Lerma. Estos se cosechan en diciembre para ser usados como semilla en otras zonas de la provincia a partir de enero. Dado el régimen de lluvias, esta actividad es posible únicamente con secado artificial.

d) Uva: Se produce en algunas zonas de la provincia y su secado permitiría un uso alternativo del secadero.

e) Alfalfa: Es otro producto que permite un uso alternativo del secadero.

RESULTADOS GENERALES DE LOS ENSAYOS

Durante tres meses se realizaron doce ciclos de secado. A continuación se discuten en detalle los resultados obtenidos para uno de los mismos, en el cual se lograron buenos registros de las variables de mayor interés. La duración del ciclo fué de tres días y medio del 2 al 5 de enero y en el mismo se llevó a cabo una experiencia de vaporación de agua.

Las figuras 4 y 5 muestran la variación de la radiación sobre plano horizontal dentro y fuera del secadero así como las temperaturas interior y exterior, medidas a 1.20 m del suelo. Durante la noche del segundo día, se produjo un corte en el registro, por detención del datalogger. En este ciclo hubo pocas nubes por lo que los valores de radiación son altos, llegando a mediodía a cerca de 1200 W/m². La radiación media diaria para los tres días en que se dispone de datos completos, se dá en la tabla I. La temperatura ambiente estuvo algo por arriba de los 30 C a mediodía, usual para esta época del año y en el interior del secadero se llegó hasta algo mas de 50 C.

La figura 6 muestra la variación de temperatura y humedad del aire a medida que pasa por las dos cámaras, a diferentes horas del día, durante el primer día de secado. Se aprecia la variación de temperatura a humedad absoluta constante, dentro de la primera sección de la cámara donde se produce el secado.

La figura 7 muestra la evaporación del agua en las cuatro bandejas medidas manualmente, expresada como variación de la altura del agua. En general las bandejas colocadas en el nivel superior a las que llega un radiación notablemente mas alta, sufren una evaporación mayor.

En este secado se utilizaron 600 bandejas cargadas con 244 de agua en total. Las cuatro bandejas muestran un descenso promedio de 17.5 mm al cabo de los tres días y medio. Teniendo en cuenta que el area total de bandejas es de 13.4 m² se tendría una evaporación de 235 litros.

Esto indica una concordancia razonable entre la medida total y la localizada en las cuatro bandejas testigo. Una comprobación visual indicó que quedaba muy poca agua en el secadero al cabo del período de medida. Es de observar que la velocidad promedio de evaporación para cada día es aproximadamente constante en cada bandeja en contraste con lo que sucede en un producto real.

La figura 8 muestra la variación de temperatura en la superficie del suelo y las subterráneas a 5, 15 y 40 cm de profundidad. Se observa el desfase y la amortiguación de la onda térmica a lo largo del día.

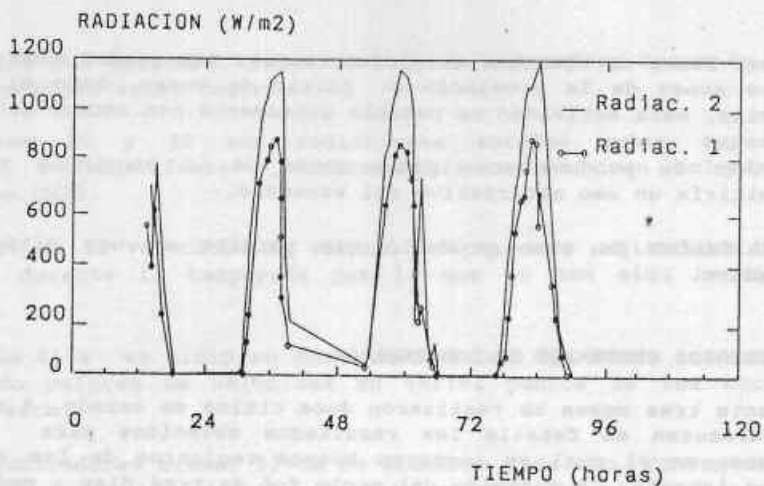


Fig 4 Radiación sobre superficie horizontal dentro y fuera del secadero

TABLA I Radiación media diaria sobre superficie horizontal ($Mj/m^2 \cdot día$)		
Día	Externa	Interna
3	19.5	13.9
4	24.3	19.0
5	22.4	14.9

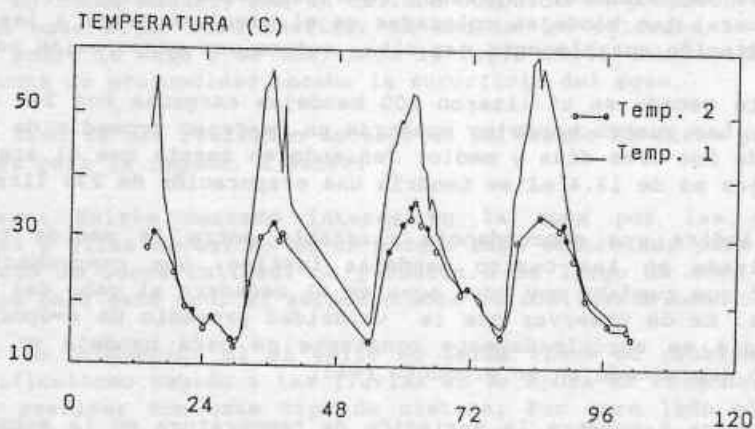


Fig 5 Temperaturas dentro y fuera del secadero a una altura de 1.20 m sobre el suelo

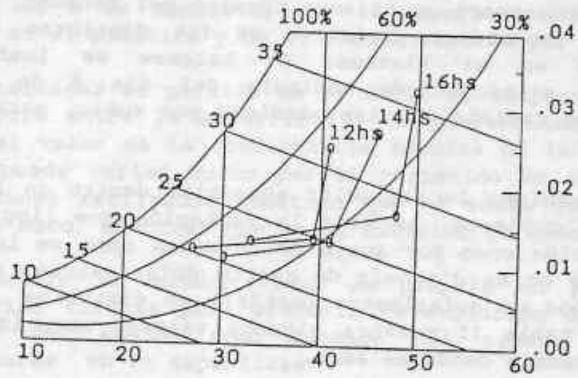


Fig 6 Variación de la temperatura y humedad a lo largo del secadero para distintas horas del día

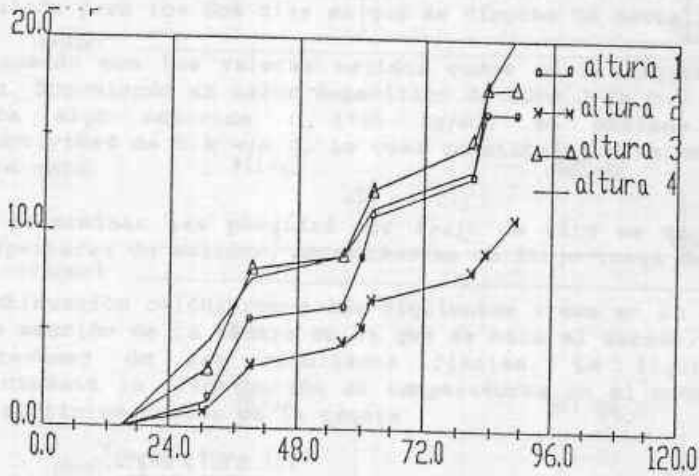


Fig 7 Evaporación de agua en las bandejas testigo medida por la altura del agua

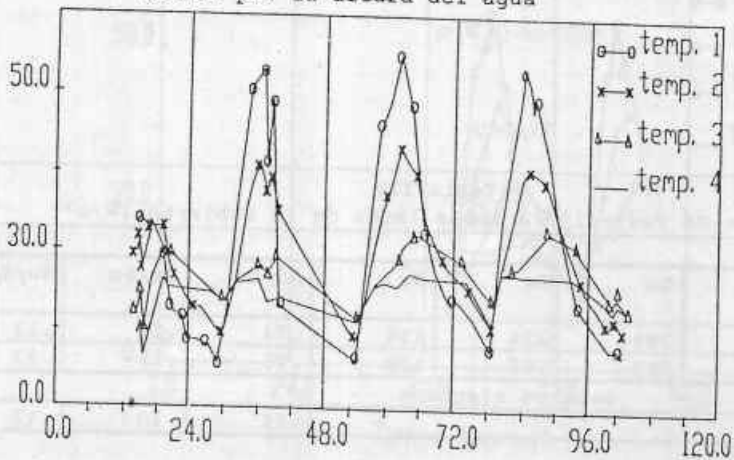


Fig 8 Variación de la temperatura a distintas profundidades en el suelo

BALANCE TERMICO DEL SECADOR

A continuación se planteará un balance térmico del secador, con el fin de determinar la importancia relativa de las distintas fuentes de pérdidas térmicas en el sistema. El balance es instantáneo y corresponde a la situación de mediodía del día 4 de enero. Se discutirá el aporte radiativo y las pérdidas por suelo, paredes y aire en circulación.

Con el fin de determinar la radiación absorbida dentro de la cámara y en el plástico de cubierta, se mide la radiación que llega y la que sale tanto por arriba como por abajo de la misma como se indica en la figura 9. Dado que no se disponía de cuatro solarímetros, se hicieron medidas manuales con un solarímetro portátil en distintos días cerca del mediodía. La tabla II muestra algunos valores obtenidos y su relación para la cámara donde se seca.

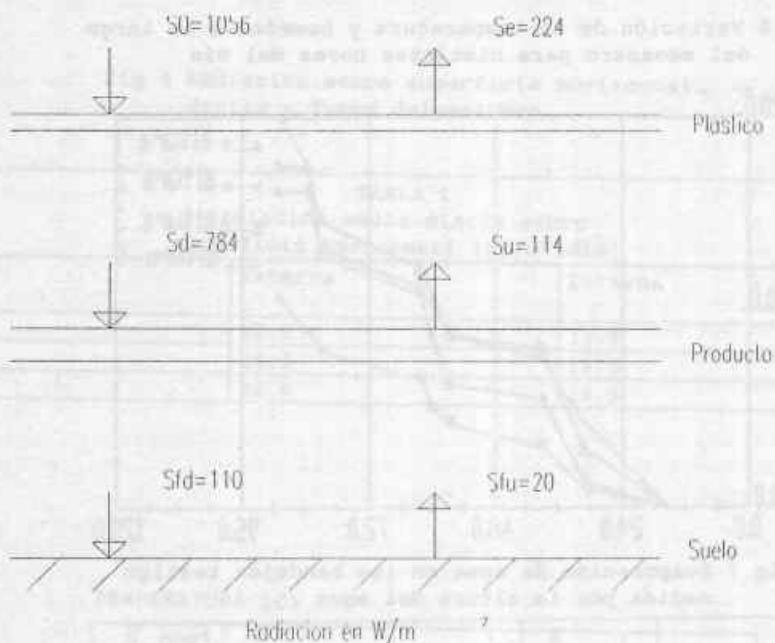


Figura 9

Tabla III
Valores de radiación a ambos lados de la cubierta (W/m²)

día	So	Sd	Se	Su	Sd/So	Se/So	Su/So
1	1056	784	224	114	.74	.21	.11
1	959	757	192	128	.79	.18	.13
Valores elegidos					.75	.20	.12

En la tabla III también se dan los valores de la relación entre radiaciones que serán usados en el balance. El valor de S_e/S_o está de

acuerdo con los obtenidos a través de la medida de los dos solarímetros instalados. Como se aprecia, de la radiación incidente, solo un 63 % es absorbida por la cámara, mientras que un 20 % se refleja en el plástico y un 17 % es absorbido por el mismo.

Para determinar la pérdida en el suelo se dispone de la diferencia de temperatura entre la superficie y la profundidad a 5 cm, pero no se conoce el valor de la conductancia térmica de la tierra del secadero, la que puede variar mucho por el contenido de agua del terreno. Las inspecciones realizadas muestran que el suelo en el secadero, estaba bastante seco, mientras que en el exterior la humedad era grande.

Para estimar la conductividad se preparó un programa numérico en diferencias finitas para predecir la evolución de temperaturas en el interior del suelo, como función del tiempo si se conocen las temperaturas en la superficie.

Variando la difusividad térmica se buscó el valor que asegurase el mejor acuerdo entre los valores calculados y los medidos obteniéndose $a = 0.458 \text{ E-8 m}^2/\text{s}$. La figura 10 muestra la curva de temperatura calculada para los dos días en que se dispone de datos completos.

El acuerdo con los valores medidos dados en la figura 8 es bastante bueno. Suponiendo un calor específico de 1000 J/Kg C y una densidad de tierra algo removida : 1760 kg/m^3 , se obtiene un valor de conductividad de 0.8 w/m C , lo cual constituye un valor razonable para tierra seca.

Para determinar las pérdidas por flujo de aire se midió el mismo en las aperturas de salidas, obteniéndose un flujo total de 0.32 kg/s .

A continuación calcularemos los siguientes items en un balance térmico de la sección de la cámara en la que se hace el secado. La tabla IV da un resumen de los resultados finales. La figura 11 muestra graficamente la distribución de temperaturas en el momento de cálculo para distintos puntos de la cámara.

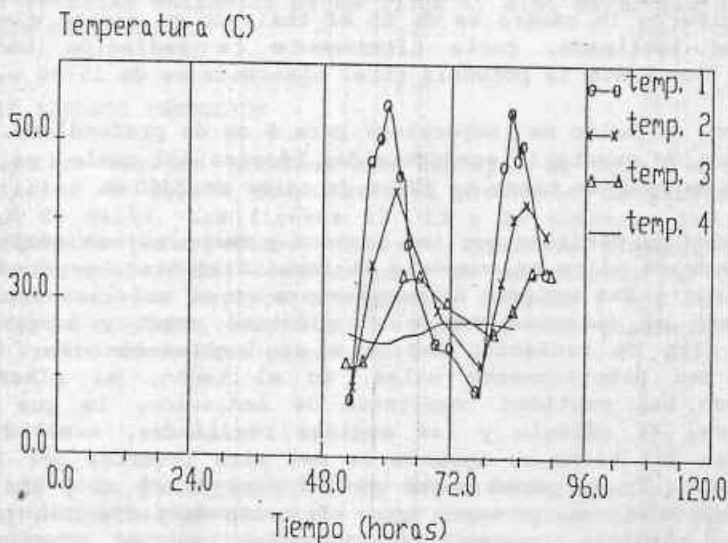


Fig 10 Resultados del cálculo de temperaturas a distintas profundidades en el suelo

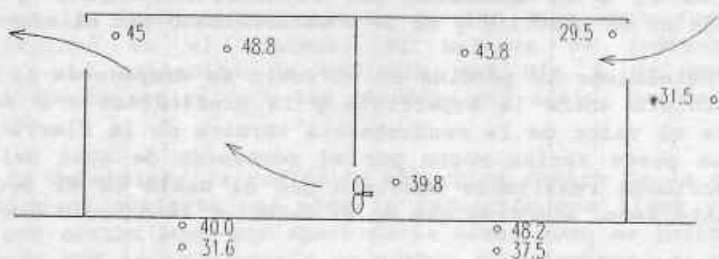


Figura 11

Tabla 4
Balance de energía en el secadero

	Cámara secado	Cámara de colección
Radiación incidente	15780 vatios	12700 vatios
Pérdidas por piso	3360	4700
Pérdidas por paredes	1140	1080
Pérdidas por aire	1660	3300
Evaporación	9000	2300
Total	15240	11384

La energía aportada es la solar. La radiación instantánea para el momento considerado es de 1089 w/m², lo que da un aporte de 686 w/m² a la cámara y una absorción en el plástico de 185 w/m². El área efectiva de colección de la cámara es de 23 m² teniendo en cuenta que la pared sur, algo inclinada, corta ligeramente la radiación incidente a mediodía. Por tanto la potencia total absorbida es de 15780 w.

En el piso, el salto de temperatura para 5 cm de profundidad, es de 84 C. Teniendo en cuenta la conductividad térmica del suelo, ya calculada y el área de piso se tiene un flujo de calor de 3360 w.

La situación de pérdidas por las paredes y techo es mas complicada, ya que cada uno de ellos se comporta en forma distinta. La pared sur está bien aislada y las medidas de temperatura en el exterior dan un valor muy cercano al interior debido al plástico negro y a que le está llegando algo de radiación debido a su inclinación. Por tanto las pérdidas son prácticamente nulas. En el techo, el plástico está absorbiendo una cantidad importante de radiación, lo que eleva su temperatura. El cálculo y las medidas realizadas, muestran que la temperatura del techo es igual a la del aire interior por lo que no hay pérdidas. En la pared norte con un área de 10 m² y los costados con 12.5 m² cada uno, se tiene poca absorción de radiación, por lo que existirán pérdidas reales. El cálculo con un coeficiente de transferencia estimado en 6 w/m² C da 1146 w.

El aire que pasa por la cámara sufre un salto de temperatura de 5.2 C por lo que se lleva como calor sensible 1660 w, teniendo en cuenta el flujo medido. La evaporación de agua de las bandejas fué medida en 1 mm/hora a mediodía, lo que dá una pérdida de 13.5 Kg de agua/hora, o sea 0.012 kg de agua por kg de aire. Ello implica una pérdida de calor latente de 9000 w.

La tabla IV muestra que las pérdidas totales valen 15240 w, lo que implica una acuerdo razonable con las ganancias, que valen 15780 w.

La eficiencia del secadero, medida como relación del calor latente perdido por evaporación dividido por la radiación incidente sobre las dos secciones de la cámara, es igual a 16.8 %

Es posible calcular la eficiencia global del sistema para todo el período de secado, ya que se evaporaron 244 litros de agua y se dispone de la radiación total que ha llegado a los 50 m² de secadero. se obtiene un valor de 16.4 % en buen acuerdo con el valor instantaneo.

Tambien se puede realizar el balance en la sección de la cámara que trabaja como colector. La radiación efectivamente absorbida es algo mayor porque el suelo oscuro refleja menos que las bandejas del otro lado. Se absorben 727 w/m² dando una radiación total de 12700 w.

Las pérdidas en el suelo valen 4700 w y son debidas al aumento de la temperatura superficial del suelo, producido por la radiación que llega sin obstáculos. Las pérdidas por la pared norte y los costados, llegan a 1084 w. El aire se lleva como calor latente 3300 w. Las medidas muestran algo de evaporación en la cámara, humedad que debe llegar a la misma a través del piso. Las medidas de bulbo húmedo muestran que la humedad absoluta a la entrada del colector (aire ambiente) es de 0.132 kg/kg mientras que a la salida del secadero se tiene 0.0285 kg/kg. Dado que en el secadero hemos evaluado la evaporación en 0.012 kg/kg, la que se produce en el colector estaría 0.0032 kg/kg, dando una potencia latente arrastrada de 2300 w. El total de pérdidas estimadas es de 11384 w, algo mayor que la potencia disponible de 12700 w.

SECADO DE ALGUNOS PRODUCTOS

Ademas de los ensayos térmicos con bandejas de agua, se realizaron varios ciclos de secado con distintos productos de interes para la provincia de Salta. Las figuras 12, 13 y 14 muestran las curvas de secado obtenida para poroto, uva, ají, pimienta y pera. También se completaron secados con orégano pero no se dispone de las curvas correpondientes. Los ensayos con poroto, orégano y ají se realizaron con la carga completa, mientras que las de uva, pimienta y pera se llevaron a cabo con cargas pequeñas.

CONCLUSIONES

Son de remarcar dos resultados de importancia: Por un lado se han logrado medir los parámetros de mayor importancia para determinar el funcionamiento térmico del sistema. Ellos permitirán encarar una simulación, la que podrá ser usada para dimensionar otros secaderos de este tipo.

Por otro lado, se han realizado ensayos de secado de productos típicos de la zona con buenos resultados, mostrando la factibilidad de utilización real de estos secaderos.

BIBLIOGRAFIA

- 1- H. Dagueuet. " Six Operational Solar Dryers for Industrial Purposes in the Soud of France". Proceedings of UNESCO/FAO Working Group Meeting Solar Dryer, CNRE Bulletin No. 7 , 19 ,(1985)
- 2- "Survey of Solar Agricultural Dryers" Brace Research Institute Bulletin , Canada (1975)
- 3- Th. Lawand. "Agricultural and Other Low-temperature Applications of Solar Energy " Solar Energy Handbook, ed. J.F. Kreith, Mc Graw-Hill, chapter 18, (1981)