

SISTEMA SOLAR PARA USO COMO INVERNADERO O SECADERO: NUEVO DISEÑO

Luis Saravia*, Ricardo Echazú, Leonor Zunino** y Mirta Quiroga

INENCO #, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 Salta, Argentina

RESUMEN

En este trabajo se describe el diseño y construcción de un secadero solar-invernadero que incorpora un conjunto de mejoras basadas en la experiencia recogida con un sistema de este tipo que funcionó durante la temporada 87-88 en Salta. La cámara de secado con cubierta de plástico tiene una dimensión de 5 X 10 m² y su eje principal está orientado en la dirección este-oeste. Las paredes que miran al sur han sido construidas con doble capa de plástico y aislación en el centro. La cámara es dividida en dos y un ventilador axial circula aire entre ambas mitades.

Durante el invierno se coloca masa térmica, discutiéndose la ventaja relativa de diferentes tipos de materiales. Se presentan los detalles constructivos.

INTRODUCCION

En la última reunión de trabajo se presentó un diseño de secadero solar-invernadero (1) basado en el uso de una cámara semicircular de 5 x 10 m² construida en plástico, con el eje principal orientado en la dirección norte-sur. Durante el verano se usaba como secadero estando dividido en dos secciones. Un ventilador permitía reciclar el aire caliente de una de las secciones donde se colocaba el producto semiseco y el procedente de un colector externo de bajo costo, para introducirlo en la otra donde se coloca el producto más húmedo. La Figura 1 esquematiza el flujo entre las partes y muestra la evolución del aire en el diagrama psicrométrico. Durante el invierno se quita la división central y el sistema funciona como invernadero con un calentamiento también mediante el colector externo.

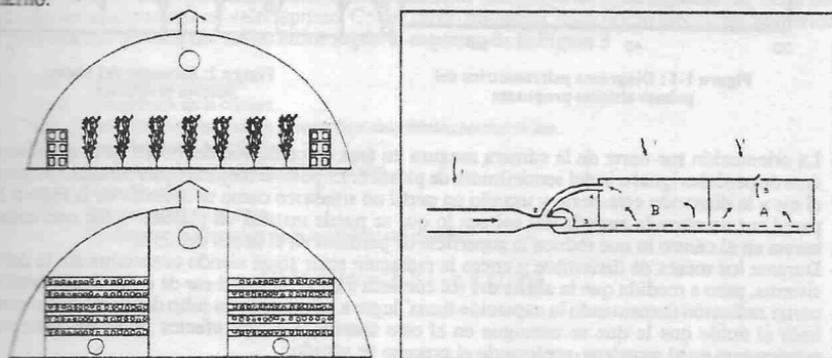


Figura 1: Esquema del sistema y flujos entre las partes.

* Investigador del CONICET

** Becaria del CONICET

Instituto UNSa-CONICET

El conjunto fue ensayado durante la temporada 87-88 recogiéndose una experiencia que recomienda varios cambios con el fin de mejorar el comportamiento térmico y bajar los costos. En las próximas secciones se discute el nuevo diseño de secadero e invernadero desde el punto de vista térmico y de costos.

DISEÑO DEL SECADERO SOLAR

Las experiencias realizadas con el sistema anterior mostraron que la semicámara del invernadero funcionaba como colector con una eficiencia muy similar a la del colector externo.

Dado que durante el invierno es conveniente aprovechar la mayor área posible para la colocación de plantas, y el área de colección no se puede usar a estos efectos, es más provechoso intercambiar área de colección por área de siembra.

En estas condiciones, el aire fresco entra directamente a la semicámara con el producto más seco, se calienta con poca incorporación de agua y pasa a la semicámara con material húmedo para recoger humedad y salir al exterior. La Figura 2 esquematiza el flujo entre las semicámaras y muestra la evolución del aire en el diagrama psicrométrico. La circulación de aire entre las dos semicámaras es mantenida por ventiladores axiales ya que ahora no existen ductos y la pérdida de carga es mínima. Este tipo de ventilador es más barato que el centrífugo, permitiendo una reducción sustancial de costos en el elemento más caro del sistema.

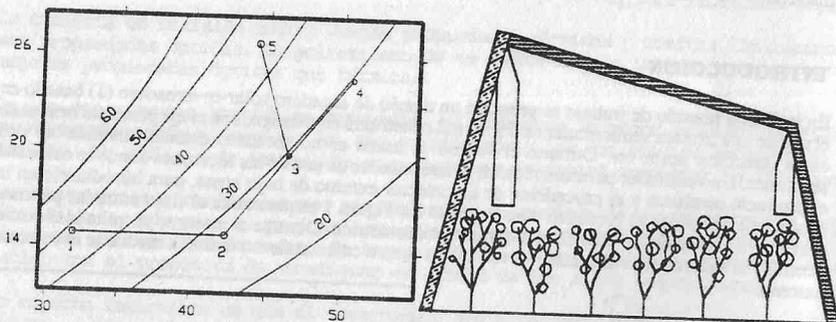


Figura 1-1: Diagrama psicrométrico del primer sistema propuesto

Figura 2: Esquema del nuevo sistema propuesto.

La orientación sur-norte de la cámara asegura un área de colección del orden de la del piso y un área de pérdidas igual a la del semicilindro de plástico. Es posible mejorar estas condiciones girando el eje a la dirección este-oeste y usando un perfil no simétrico como se muestra en la Figura 2. La pared sur no corta la entrada del sol por lo que se puede instalar un plástico doble con aislación barata en el centro lo que reduce la superficie de pérdidas en el orden del 25%. Durante los meses de diciembre y enero la radiación solar sigue siendo esencialmente la del otro sistema, pero a medida que la altura del sol comienza a bajar, la pared sur de color negro empieza a cortar radiación aumentando la captación hasta llegar a un máximo en julio donde prácticamente se hace el doble que la que se consigue en el otro sistema. Los dos efectos permiten aumentar la temperatura en el secadero, acelerando el proceso de secado.

DISEÑO DEL INVERNADERO

En el funcionamiento como invernadero, se retiran la división central y los ventiladores quedando la cámara libre para la colocación de plantas.

La cámara de plástico tiene dos efectos principales sobre la planta. Por un lado, evita el enfriamiento por radiación nocturna (el plástico usado corta la radiación infrarroja) que puede producir fuertes heladas en los días claros hacia el fin de la noche. Por otro lado la temperatura de la cámara está alrededor de 3 C sobre la temperatura ambiente disminuyendo el efecto de las bajas temperaturas. Este efecto es producido por la acción acumuladora del piso de la cámara.

Durante las experiencias realizadas, las plantas llegaron a temperaturas cercanas a los 0 C, cuando en el exterior se produjeron fuertes heladas, las plantas no tuvieron problemas y han dado frutos en forma normal. No obstante, sería conveniente no encontrarse tan cerca del límite, en prevención de situaciones extremas, por lo que se intentará subir la temperatura incrementando la acumulación pasiva dentro de la cámara.

Existen tres alternativas en lo que se refiere a tipo de materiales a usar para la acumulación: Materiales de construcción (tierra, bloques, etc), agua, sustancias con cambio de fase. Un análisis térmico y económico muestra que el agua es muy conveniente por su bajo costo y disponer de una cantidad de calor por kilo, razonable.

Los materiales de cambio de fase son muy convenientes térmicamente, pero tienen un costo del orden de US\$ 1,50 por kilo. Si bien este es un precio razonable en el uso corriente, no es aceptable para aplicaciones agrícolas. Por último los materiales de construcción también tienen bajo costo, pero su capacidad de acumulación es bastante menor que la del agua y ocupan parte del lugar destinado a las plantas.

En este sistema se ensayará un acumulador pasivo constituido por cilindros verticales llenos de agua, en lugares que no obstruyan demasiado la radiación que llega a las plantas. Durante el día los cilindros captarán energía por absorber radiación y por contacto directo con el aire caliente del invernadero. Durante la noche irán cediendo calor a la cámara aumentando su temperatura.

Los ensayos realizados muestran que para lograr un aumento de temperatura de 4 C sobre el aire externo, el invernadero a construir necesita un aporte de potencia de 2 Kw.

Usualmente el momento crítico ocurre al amanecer cuando la temperatura ambiente y la del invernadero llegan al mínimo.

El aporte térmico dado por cada cilindro a la cámara por kilogramo de agua depende del radio del cilindro, debiendo existir un valor óptimo. Con el fin de estimarlo, se ha hecho un cálculo numérico de la evolución térmica del acumulador según el esquema de la Figura 3

- Si: T(t) Temperatura del agua.
- Tc(t) Temperatura de la cámara.
- I(t) Radiación incidente sobre la superficie del cilindro, normal al haz.
- S Superficie total del cilindro.
- h Coeficiente de pérdida del cilindro al aire.
- M Masa del cilindro.
- Cp Calor específico del agua.
- α Coeficiente de absorción de la superficie del cilindro.

Se debe cumplir: $C_p M dT/dt = \alpha S I - h S (T - T_c)$

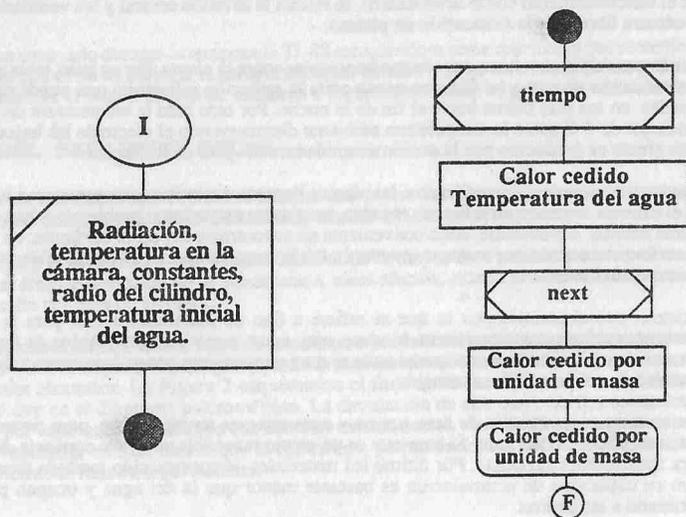


Figura 3: Esquema de cálculo numérico.

Esta ecuación se integró numéricamente suponiendo una evolución constante para la temperatura de la cámara T_c a lo largo de las 24 horas (ver Figura 4) y para la radiación I . Se supuso como condición de régimen que el cilindro al cabo de 24 hs volviese a tener la misma temperatura T que al iniciarse el proceso; en la Figura 5 se muestra la temperatura del cilindro para un radio de 10 cm en función del tiempo. Sobre la base de los resultados se calculó para distintos radios la potencia térmica por kilo de agua que el cilindro entrega al aire al llegar la madrugada (ver Figura 6). En la Figura 7 se muestra el calor intercambiado entre el cilindro y el aire de la cámara.

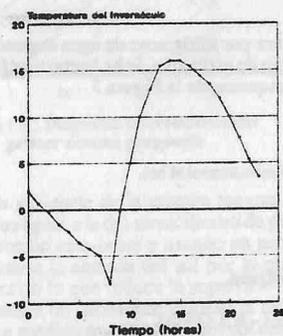


Figura 4: Temperatura interior de la cámara.

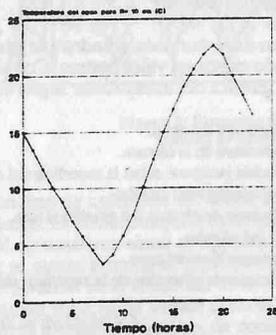


Figura 5: Temperatura de agua para radiación 400 W/m^2

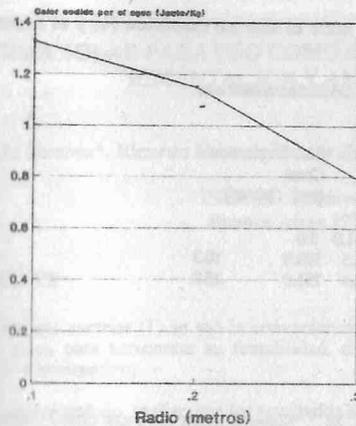


Figura 6: En función del radio

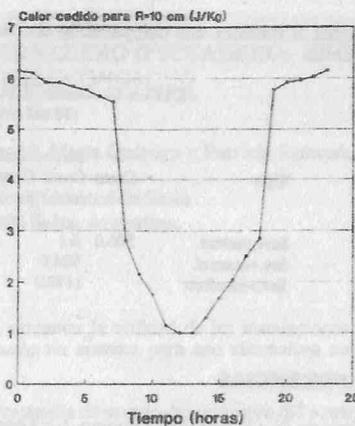


Figura 7: Para radio de 10cm

Los resultados muestran que un radio algo superior a 5 cm permitiría entregar una potencia al amanecer de $1,3 \text{ W}$ por kilo de agua. 1500 kilos de agua son suficientes para entregar los 2 Kw previstos.

Con estos diámetros se puede almacenar el agua en mangueras de polietileno de 450 micrones, de la normalmente usada para riego. Esta se puede colgar de la estructura con longitudes de 1 a 1,5m.

La mayor parte se colgará sobre la pared sur de manera que no interfiera con la radiación que llega a las plantas.

COSTOS

El sistema ha sido construido recientemente. La Tabla I da valores del costo de las distintas partes.

TABLA I-Costos

Invernadero de sección trapezoidal (50 m²)

Cantidad	Descripción	Valor
110 m	Madera dura de 75x50 mm	71.5
20	Piezas metálicas para uniones	56.8
120 m ²	Polietileno U.V. térmico de 150 μm	60.0
40 m ²	Polietileno negro de 150 μm	63.1
2	Ventiladores axiales de 1/2 H.P. c/u	168.4
200 m	Manga de riego de 10 cm de diámetro	84.0

Total US\$ 603.8

La Tabla II muestra una comparación de costos entre el sistema cilíndrico (1) y el trapezoidal propuesto.

**TABLA II.- Costos (US\$) de los distintos sistemas
(50 m² c/a)**

Tipo	Sist. semicilíndrico			Sist. Trapezoidal	
	Costo total	Costo por m ²	Costo total	Costo por m ²	Costo total
Invernadero	306.0	6.1	251.0	5.0	
Inv.+acumul.	924.0		18.5	503.0	10.3
Inv.+secadero	1172.0		23.4	751.0	15.0

REFERENCIAS

1- Saravia, L. ; Echazú, R. ; Zunino, L. ; Quiroga, M. : "Sistema Solar para uso como invernadero o secadero: Experimentación y analisis económico" Presentado en esta misma reunión.