

## CALENTAMIENTO SOLAR DE INVERNADEROS EN LA PROVINCIA DE SALTA

L. Saravia#, R. Echazú,  
C. Cadena y C. Cabanillas  
INENCO\*  
Universidad Nacional de Salta  
Calle Buenos Aires 177, 400, Salta  
Tel/Fax 54-87-251034  
A. Arias  
INTA EEA Salta  
C. C. 228 , 4400 Salta

### INTRODUCCION

Durante los 10 últimos años, la cantidad de invernaderos en la provincia de Salta, creció considerablemente; se calcula que funcionaban más de 200 Ha. a principios de 1992. La mayor parte de la producción local se comercializa en el mercado de Buenos Aires o se exporta. Parte de estos invernaderos han sido construídos en el Valle de Lerma, en los alrededores de la capital, donde las condiciones meteorológicas hacen necesario algún calentamiento durante el invierno. Se esperan cada año cerca de 12 días de heladas con una temperatura mínima debajo de los  $-8^{\circ}\text{C}$  a 1.5 m de altura sobre el suelo. La temperatura promedio en el peor mes de invierno es de alrededor de  $-9^{\circ}\text{C}$ , el tiempo es bastante seco y es común que la amplitud térmica sea alta. Asimismo Es usual el sobrecalentamiento del invernadero durante el día, haciendo necesaria la ventilación de la estructura. La temperatura mínima se registra a las 7 de la mañana, aproximadamente, poco después de la salida de el sol.

En este trabajo, se presenta un sistema activo de calentamiento de agua, para solucionar los problemas de congelamiento. El sistema es usado para captar el exceso de energía del invernadero durante el día, y devolver éste a la noche para aumentar la temperatura bajo la cubierta. La parte más importante del sistema es una bolsa plástica colocada en forma vertical dentro del invernadero, la que trabaja como colector solar durante el día y calienta el invernadero de noche. De ser necesario, el sistema puede usar una fuente de energía auxiliar, para calentar el agua, como por ejemplo colectores solares externos o un quemador de leña.

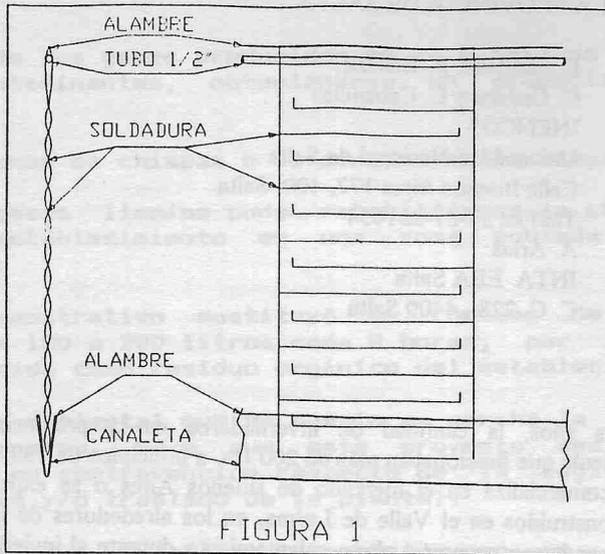
### DESCRIPCION DEL SISTEMA

Las tres partes principales del sistema de calentamiento solar son:

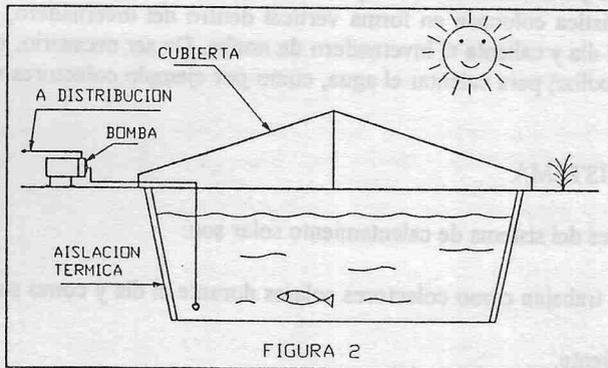
- 1) Bolsas plásticas, que trabajan como colectores solares durante el día y como superficies calefactoras a la noche.
- 2) Depósito de agua caliente.
- 3) Bomba, tuberías de distribución y control electrónico.

Las bolsas plásticas se fabricaron con tubos de polietileno transparente de 100 mic. Están colocadas verticalmente y tienen 1.20 m de largo por 0.50 de ancho. Están soldadas de modo que el agua que ingresa por el extremo superior, y al bajar por gravedad hace un recorrido en zig-zag. En la figura 1 se ve un esquema de las mismas.

\* Instituto UNSa - CONICET  
# SAPIU CONICET



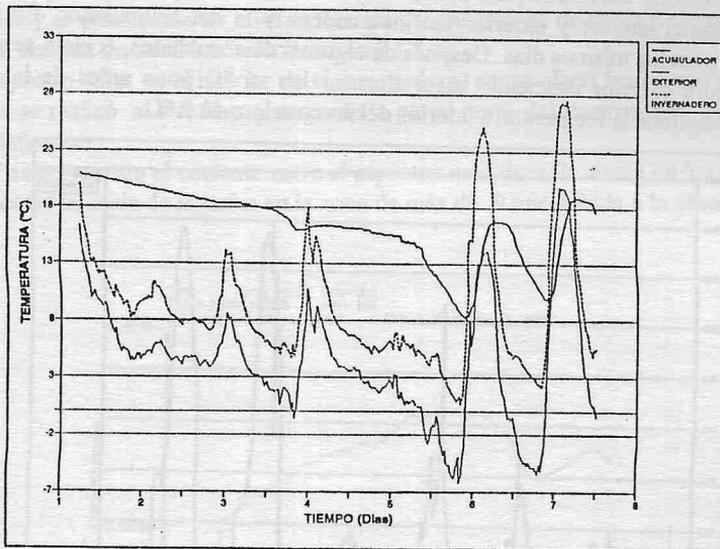
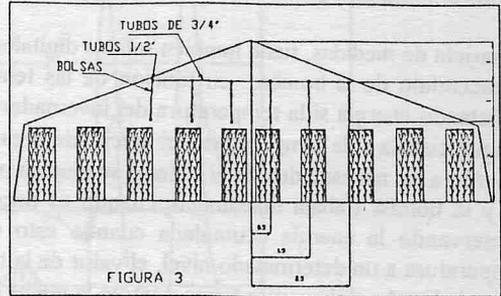
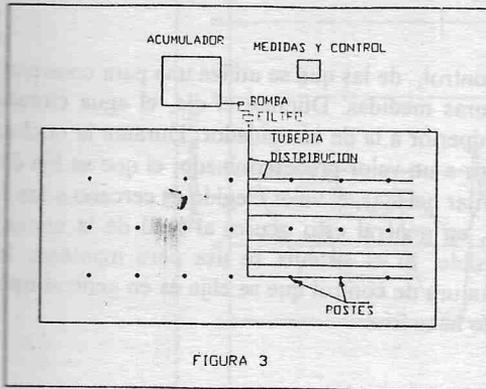
El agua que circula dentro de las bolsas se calienta durante el día por medio de dos procesos: a) El agua absorbe parte de la radiación infrarroja del espectro solar. Puesto que ambas son transparentes a la radiación visible, no hay competencia con las plantas que la necesitan, b) el agua extrae calor del aire del invernadero, atravesando la pared de la bolsa. De noche, cuando la temperatura del invernadero baja de un valor preestablecido, el agua comienza a circular en las bolsas, las que actúan como superficie de transferencia de calor hacia el aire del mismo.



El agua caliente se guarda en un depósito excavado directamente en el suelo, como se ve en la Figura 2. Las paredes del depósito están recubiertas con un film de polietileno de 200 mic. para evitar las pérdidas de agua. Estas paredes tienen aislación térmica de poliestireno expandido de baja densidad de 20 mm de espesor. El depósito tiene un techo de polietileno UV térmico para limitar las pérdidas térmicas y la contaminación del agua. Una bomba eléctrica de 1/2 HP, distribuye el agua hacia las bolsas, por una red de tuberías de polietileno de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.

La figura 3 muestra un esquema de la instalación en planta y corte. El agua descende por gravedad dentro de las bolsas y es colectada por una red de tuberías plásticas de 10 cm de diámetro, con una

pendiente adecuada para que el agua retorne al acumulador. Un sistema electrónico controla la circulación de agua durante el día comparando la temperatura del invernadero con la exterior. De noche, la bomba trabaja cuando la temperatura interior del invernadero desciende hasta un determinado valor, cercano a la temperatura de congelamiento.



### ENSAYO DEL PROTOTIPO

Se construyó un prototipo del sistema para ensayar la aplicabilidad del sistema. Se utilizó un invernadero de 600 m<sup>2</sup> instalado en la estación del INTA en Cerrillos, cerca de Salta. El invernadero está dividido en dos partes iguales, por una pared de plástico transparente. En una de éstas, donde se instaló el sistema de calefacción, está implantado un cultivo de claveles.

El sistema de calefacción tiene un total de 196 bolsas con una superficie de 120 m<sup>2</sup>. El depósito tiene una capacidad de 18 m<sup>3</sup>, y para la circulación de agua se emplea una bomba de 1 HP.

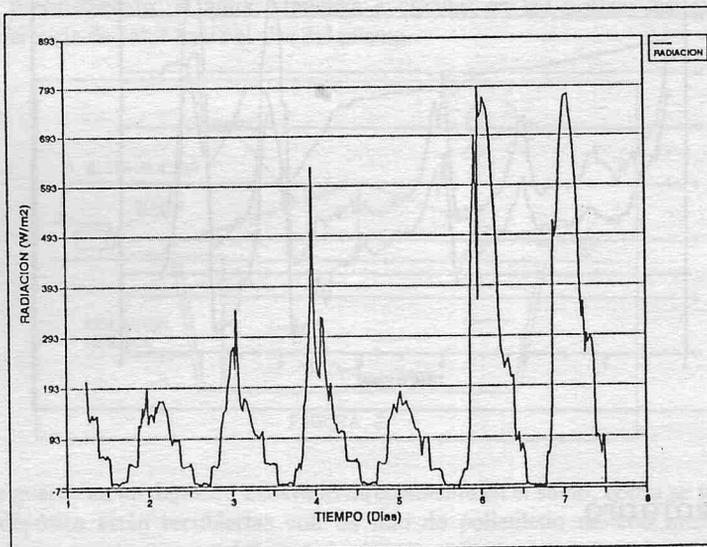
Para la medición y registro de temperaturas, radiación solar y velocidad de viento, se instaló una computadora tipo XT con una tarjeta de adquisición de datos. Estos datos son guardados en diskettes. La medición de caudal de agua se realiza manualmente con un recipiente calibrado y un cronómetro. Para las medidas espectrales de radiación, se empleó un espectrómetro portátil LI-Cor 1800 conectado a una computadora portátil NEC 300.

La tarjeta de medidas, tiene también salidas digitales de control, de las que se utiliza una para controlar el encendido de la bomba, en función de las temperaturas medidas. Durante el día, el agua circula colectando energía si la temperatura del invernadero es superior a la de acumulador. Durante la noche, el agua circula si la temperatura del invernadero es inferior a un valor predeterminado, el que se fija de acuerdo a las necesidades. Si el sistema se emplea para evitar heladas, el valor elegido es cercano a los 5 °C y la bomba trabaja únicamente cuando es necesario, en general esto ocurre al final de la noche, conservando la energía acumulada cuando esto es posible. Si el sistema se usa para mantener la temperatura a un determinado nivel, el valor de la temperatura de control que se elige es en general más alto y la bomba trabaja más horas durante la noche cuando hace frío.

## RESULTADOS

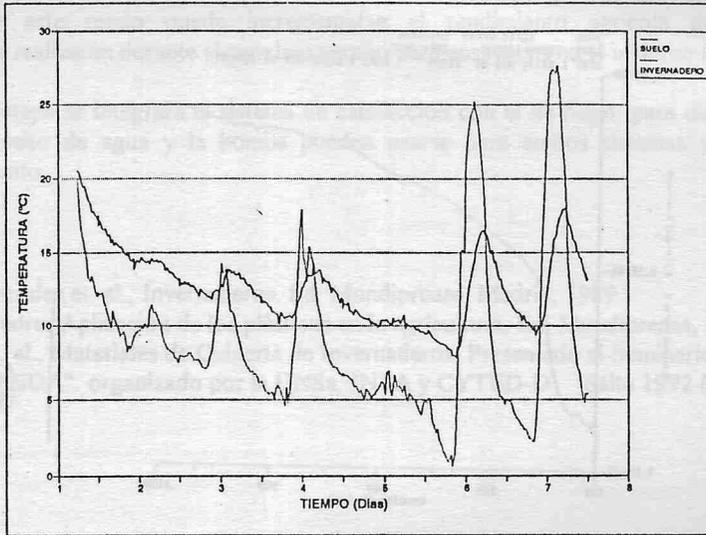
Se ensayó el sistema durante el invierno de 1992 desde mayo a agosto, con la temperatura de control fija en 5 °C y el caudal en 3000 Lts/hora.

Se presentan los resultados obtenidos para una de las semanas de temperatura más baja. La figura 4 muestra las temperaturas interior y exterior del invernadero y la del acumulador. En la figura 5 se muestra la radiación para los mismos días. Después de algunos días nublados, el cielo se abre durante la noche y la temperatura exterior descende hasta alcanzar los -6 °C poco antes de la salida del sol, mientras el sistema mantiene la temperatura interior del invernadero en 2 °C.



A las 22 hs. el sistema de calefacción comienza a trabajar y la temperatura del acumulador desciende en forma constante. El flujo de calor que se obtiene, en función de este descenso de temperatura, y considerando el volumen del acumulador, es de 14000 W. Este valor puede obtenerse de la extracción de calor entre las bolsas plásticas y el aire del invernadero. Si se considera una superficie de intercambio de calor de 240 m<sup>2</sup> y un coeficiente de transferencia de 8 W/m<sup>2</sup>/°C, se obtiene un flujo de

calor de 15000 W. En la figura 6 se muestra la temperatura del suelo del invernadero a 10 cm de profundidad, comparada con la del invernadero.



Con este dato, puede calcularse el flujo de calor desde el suelo, en 12000 W en el momento de la temperatura mínima. Estos valores son consistentes con el hecho de que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de un invernadero sin calefacción es de cerca de tres grados al final de la noche y con el sistema de calefacción se alcanzan 8 C°.

Se midió el espectro solar en el interior de el invernadero, sobre plano horizontal a distintas alturas. La misma medida se realizó al aire libre y cerca de la pared norte del invernadero, en un lugar alejado del sistema de calefacción.

En la figura 7 se representa el cociente entre el espectro medido a la altura de los claveles ( 0.60 m ), y el exterior. Nótese la caída de la curva en la zona de más de .9 mic debida a la absorción por el agua.

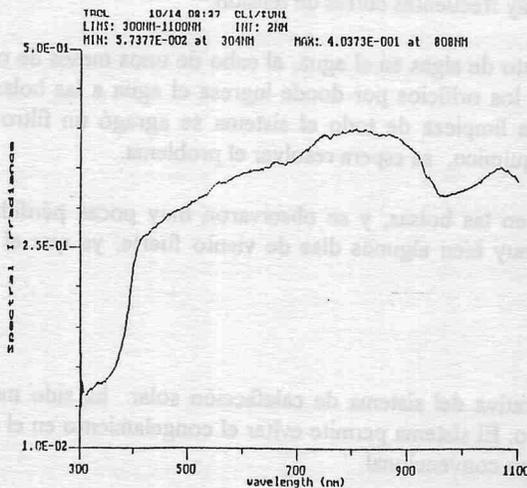


FIGURA 7.

En la figura 8 vemos también un cociente entre el espectro medido a la misma altura, en la zona alejada de las bolsas de agua y el correspondiente al exterior.

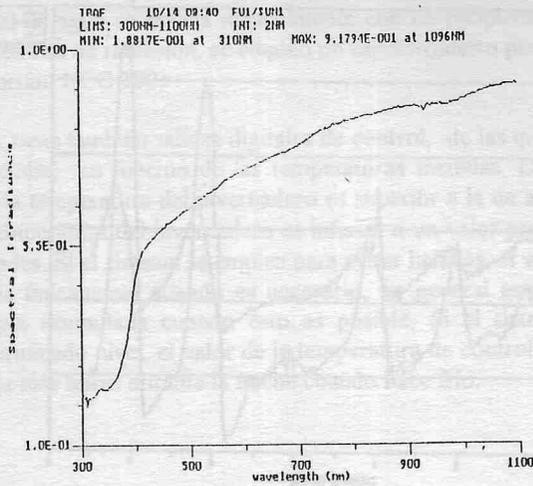


FIGURA 8.

Las medidas se realizaron a mediodía, en un día claro, y con las bolsas cargadas de agua pero sin circulación por estar la bomba detenida en ese momento. La baja transmitancia global es atribuible a suciedad en la cubierta del invernadero y la absorción entre .3 y .4 mic. al efecto anti UV del plástico.

Desde el punto de vista de su operación, el sistema ha demostrado ser muy seguro. A pesar de ser el primer año de funcionamiento, trabajó toda la temporada de invierno prácticamente sin interrupciones.

La computadora está alimentada con una batería de 110 A-H que se recarga desde la línea de 220 V en forma automática, a través de un cargador del tipo flotante. Esto es de importancia para la continuidad de las medidas, puesto que hay frecuentes cortes de tensión.

Se observó algo de crecimiento de algas en el agua, al cabo de unos meses de operación, esto produjo obstrucciones en algunos de los orificios por donde ingresa el agua a las bolsas desde la tubería de distribución. Después de una limpieza de todo el sistema se agregó un filtro de arena con lo que, además de un mejor control químico, se espera resolver el problema.

No se detectó degradación en las bolsas, y se observaron muy pocas pérdidas de agua en todo el sistema. El mismo resistió muy bien algunos días de viento fuerte, ya que el peso del agua hace el conjunto muy estable.

## CONCLUSIONES

La respuesta térmica y operativa del sistema de calefacción solar ha sido muy satisfactoria en este primer año de funcionamiento. El sistema permite evitar el congelamiento en el interior del invernadero aunque su cubierta sea del tipo convencional.

No se presentaron problemas operativos de importancia, recomendándose el uso de buenos sistemas de filtrado y de control químico de algas.

Con el uso combinado de este sistema y de cubierta doble, se controlará mejor la temperatura del invernadero. De este modo puede incrementarse el rendimiento agrícola del mismo. Estas modificaciones se realizarán durante el próximo verano para ensayarlas en el invierno del 93.

En una próxima etapa se integrará el sistema de calefacción con el de riego, para disminuir los costos iniciales. El depósito de agua y la bomba pueden usarse para ambos sistemas y la computadora controlar el conjunto.

## REFERENCIAS

- 1.- Matallana Gonzalez et. al., Invernaderos. Ed. Mundiprensa, Madrid, 1989.
- 2.- Robledo de Pedro, Aplicación de los plásticos en la agricultura, Ed. Mundiprensa, Madrid, 1988.
- 3.- Echazú, R. et. al., Materiales de Cubierta de Invernaderos. Presentado el Seminario "Cultivos Bajo Cubierta en el NOA". organizado por la UNSa, INTA y CYTED-D Salta 1992 (en prensa).