

MEDIDAS TÉRMICAS EN INVERNADERO HIDROPÓNICO¹
L. Saravia², R. Echazú³, M. Quiroga³, C. Cadena⁴, P. Robredo, S. Flores

INENCO⁵
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta - República Argentina
E-Mail : echazur@ciunsa.edu.ar , FAX 54-87-255489 -

RESUMEN

Se presentan resultados de la operación un invernadero, con producción hortícola hidropónica intensiva que cuenta con tres sistemas de acondicionamiento térmico solar, para actuar en forma independiente sobre la radiación, la temperatura del aire y la de la solución hidropónica.

De estos sistemas se evalúa el funcionamiento del último, a partir de datos experimentales tomados con un equipo automático y por termografía.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (1), se presentó el diseño de un invernadero con control térmico solar que utiliza un acumulador de calor en lecho de piedras, para el acondicionamiento del aire, una cortina de media sombra móvil para el control de la radiación y un sistema activo de circulación de la solución hidropónica entre las piletas de cultivo y un conjunto de colectores - intercambiadores

Posteriormente se publicaron resultados de la operación del acumulador de piedras y el efecto de la media sombra aluminizada sobre el ambiente del invernadero(2), como así también sobre las consecuencias biológicas y agronómicas del control ambiental sobre un cultivo de lechuga (3)

Las primeras experiencias realizadas con el sistema fueron con cultivo de lechuga colocando la solución nutritiva al inicio del mismo, reponiendo agua semanalmente. Las lechugas se cosecharon todas al mismo tiempo, descartándose la solución nutritiva en su totalidad.

Al presente, se ensayó el sistema completo durante el invierno, tomándose medidas mas detalladas de la operación y utilizando el sistema en forma mas intensiva con cultivos de diferentes especies. Los aspectos agronómicos se presentan en otro trabajo (4), mientras que aquí se analizan los aspectos térmicos de la experiencia.

SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL

Al equipo de medidas descrito en (2) se le hicieron modificaciones para evitar interferencias causados por una emisora de FM cercana al invernadero, la que aumentó su potencia de transmisión a principios de este año: Se cambió el procesador 386 por un 486, los cables de todos los sensores de temperatura, y la fuente de éstos. También fue necesario mejorar las tierras y calibrar nuevamente los sensores.

ACUMULACION DE ENERGÍA EN LA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA

Se operó en forma alternada con los tres sistemas de acondicionamiento térmico. En particular para el período seleccionado, se mantuvo abierta la malla de media sombra y se operó con el sistema de colectores solares para la solución hidropónica algunas horas del día y el acumulador de piedras se cargó los días de mayor radiación y se descargó desde las 4 a las 8 de la mañana los días mas fríos.

La solución hidropónica circula continuamente a lo largo de las piletas de cultivo, impulsada por una bomba. Para operar el sistema de intercambio, se abre una válvula solenoide que deriva hacia la entrada de los colectores-intercambiadores una parte del flujo y la solución desciende por éstos mientras intercambia energía con el entorno El caudal en esta parte del circuito fue de 0.02 Kg/seg

¹ Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta

² Investigador del CONICET

³ Personal del CIUNSA

⁴ Profesional Adjunto CONICET

⁵ Instituto UNSa - CONICET

La figura 1 muestra resultados de 6 días consecutivos, desde el miércoles 26 hasta el lunes 31 de agosto de 1998, que se seleccionaron por tener los registros de temperatura ambiente mas bajos, de un invierno anormalmente caluroso. Se representan las temperaturas de la solución, la del ambiente exterior y la de un punto cercano al piso en el centro del invernadero.

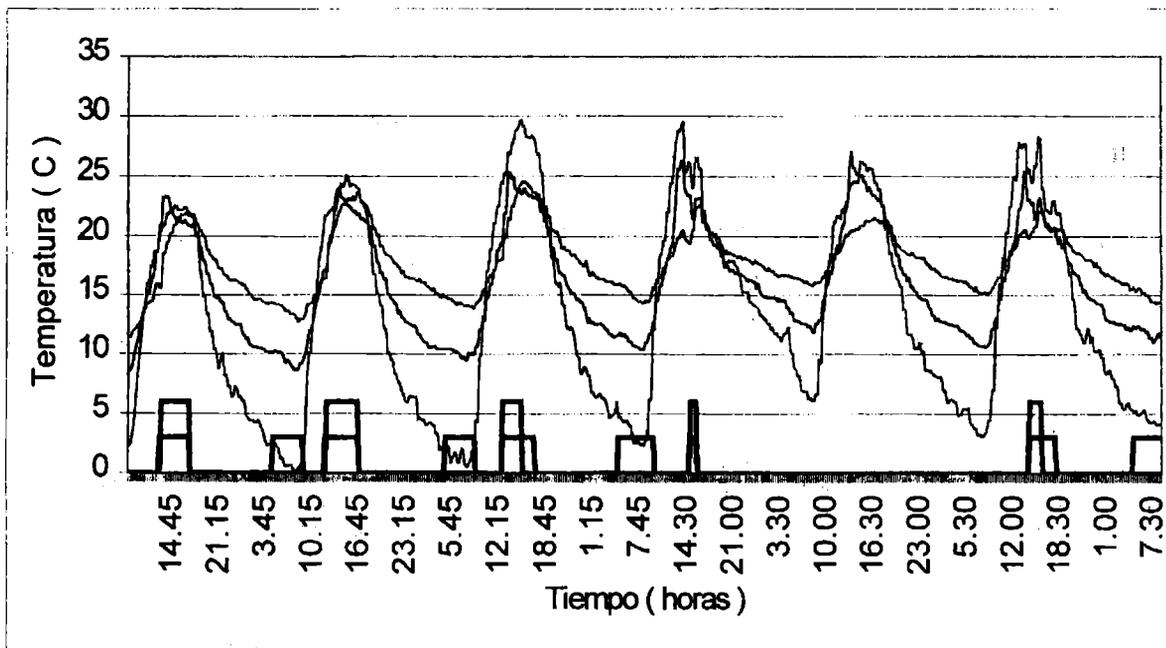


Figura 1 Evolución en el tiempo de la temperatura de la solución, la del invernadero y la del ambiente

En este gráfico, se indica también el tiempo en que estuvo en funcionamiento el sistema de colectores mediante una constante de valor 6 : También se representó el tiempo de funcionamiento del ventilador con una constante de valor 3.

Si consideramos un período en que estuvieron en funcionamiento el sistema de colectores y el del acumulador de piedras, por ejemplo el jueves, desde las 11.15 hasta las 16:00 horas, el incremento de temperatura de la solución fue de 7.4 C y su volumen 3800 litros, de modo que se calcula una acumulación de 117 MJ.

La radiación solar alcanzó un valor máximo cercano a los 900 W/m² y de la integración de los registros en el lapso de 4:45 Hs. se obtienen un total 589 MJ de energía recibida sobre los 42 m² de planta del invernadero. La figura 2 representa los registros, con frecuencia de 15 minutos, de la radiación global en la fecha seleccionada.

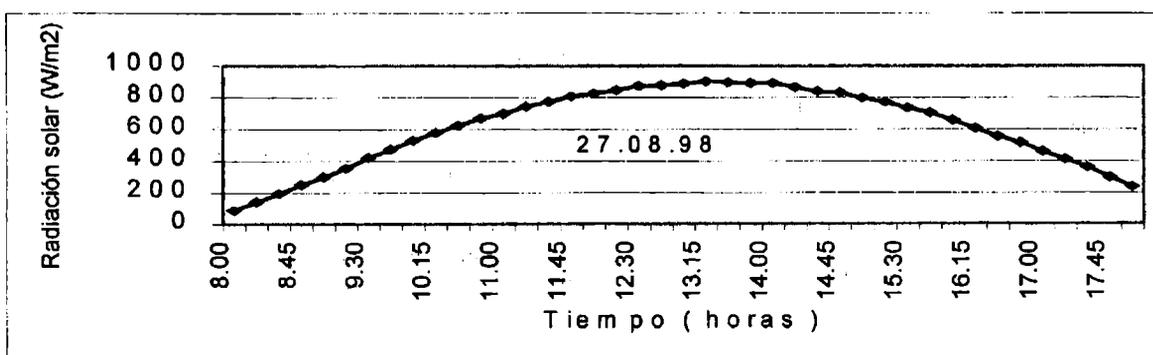


Figura 2 : Radiación solar global registrada cada 15 minutos.

Los 117 MJ acumulados representan el 19.8 % de este valor, que sería la eficiencia global del sistema considerado como un colector solar, mientras que la temperatura media del acumulador de piedras, en el mismo tiempo aumentó, 9.1 C que corresponden a una carga de 90 MJ. Esto es el 15 % del total de energía recibida en el período.

Nótese que en los días en que no operó el sistema, la diferencia entre la temperatura externa y la interna se reduce. Los últimos días, la radiación disminuyó y en consecuencia la temperatura ambiente. Puesto que de noche también se mantuvo el cielo nublado, la amplitud térmica es también menor y en consecuencia se reduce la necesidad de calefacción.

TERMOGRAFÍAS DE LOS COLECTORES – INTERCAMBIADORES

Se tomaron medidas nocturnas de la distribución de temperaturas en la superficie de los colectores-intercambiadores con un termógrafo infrarrojo Inframetrics 600L, con una emisividad de referencia para el polietileno negro de 0.90.

La imagen de la figura 2, que incluye tres colectores de los cuales el central no está completamente cargado, se tomó ingresando a los colectores-intercambiadores solución hidropónica a 19 C con la temperatura del aire a 13.5 C. En ese momento, funcionaban como intercambiadores, entregando calor al ambiente. La temperatura medida a la salida es de 18.6 C. y el caudal 0.0166 Kg/seg, lo que permite calcular un coeficiente de transferencia de 4.6. W/ M² C. Este valor puede tener un error grande dado que las condiciones de medida implicaron un bajo salto de temperatura.

Este valor, notablemente menor que el obtenido en laboratorio,(5) es atribuible al hecho de que los intercambiadores no estaban totalmente llenos de solución, por lo que la superficie real de transferencia es menor a la indicada.

La termografía en escala de grises permite apreciar claramente las zonas de menor temperatura alrededor de las soldaduras del plástico.

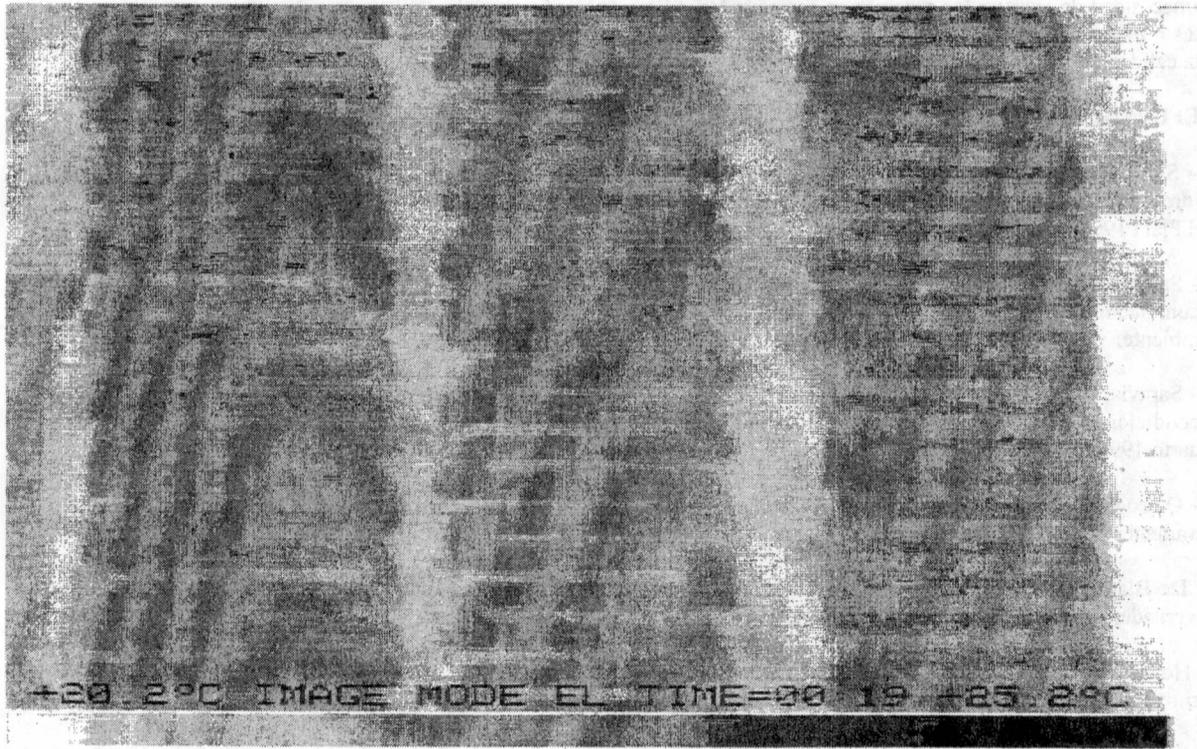


Figura 2 : Termografía de un grupo de tres colectores-intercambiadores

Por último, en la figura 3 se representa como evoluciona a lo largo de el tiempo la temperatura de un sector cercano al centro del intercambiador. La temperatura de este punto se midió con el termógrafo en forma sucesiva mientras se ponía en marcha el sistema., hasta que la temperatura de salida se estabilizó.

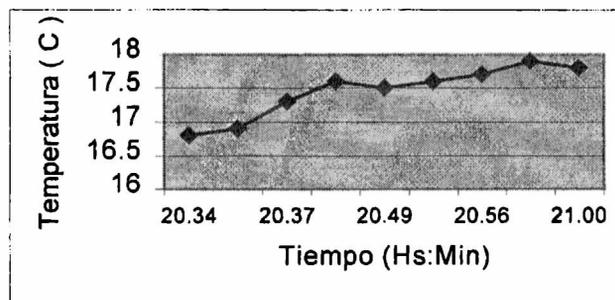


Figura 3 : Temperatura en función del tiempo para la superficie del colector-intercambiador

CONCLUSIONES

Los sistemas de acondicionamiento térmico, para controlar la temperatura del aire, la temperatura de la solución y la radiación solar que incide sobre las plantas, pueden operar en forma casi independiente, lo cual es muy conveniente para ajustar las condiciones ambientales del invernadero según las necesidades del cultivo y las condiciones meteorológicas.

Estos sistemas activos tienen una respuesta rápida a las acciones de control, como se requiere para cultivos intensivos.

El invernadero estudiado, es muy pequeño, de modo que la relación entre la envolvente y la planta, que es el factor geométrico que determina en forma directa la relación entre ingreso de energía por radiación y pérdidas térmicas, es un factor alto.

El prototipo con el que se trabaja actualmente, ocupa 42 m² y su envolvente (techo mas paredes) 110 m², la relación envolvente/planta es entonces 3.8, en un invernadero de 300 m², la envolvente es de unos 500 m² y esta relación 1.66. Esto hace que las necesidades de calefacción del prototipo sean considerablemente mayores que las de un invernadero del tamaño habitual.

La necesidad de ensayar los sistemas en forma independiente, obligó en ocasiones a someter las plantas a temperaturas mas altas o mas bajas de lo conveniente, por cortos periodos. A pesar de esto se alcanzaron altos rendimientos de productos de alta calidad, según se describe en (4)

REFERENCIAS

- 1 - Saravia, L. , Quiroga, M. , Echazú, R. y Cadena, C. " Acondicionamiento por Via Solar de un Sistema de Cultivo Hidropónico bajo Invernadero ". Diseño y Construcción., Actas de la 19a. Reunión de Trabajo de ASADES, p.p. 01.29 Mar del Plata 1996
- 2 - Saravia, L. Echazú, R, Quiroga, M. , y Cadena, C Robredo P y Flores S. " Cultivo Hidropónico en Invernadero: Uso de Acumulador de Piedras y Malla Aluminizada para Control Térmico " en Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 1 No. 1 p.p. 29-32 Río Cuarto 1997
- 3 - Saravia, L. Quiroga, M. Echazú, R., Robredo P y Cadena, C. " Cultivo Hidropónico de Lechuga en un Invernadero con Acondicionamiento Térmico Solar " en Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 1 No. 1 p.p. 25-28 Río Cuarto 1997
- 4 - Quiroga M., Robredo P. , *Saravia L, Cadena C., Echazú R., Oliva L. " Huerta Hidropónica Experimental " Presentación simultanea de los autores en ASADES '98
- 5- De Biagi, S., Iriarte, A., Saravia, L. Echazú, R. " Evaluación del Comportamiento de un Colector Intercambiador para Invernaderos ", Actas de la 17 a. Reunión de Trabajo de ASADES, Rosario, 1994 p.p.373
- 6- Hoyos, D. et. al., " Sistema de Medición y Procesamiento de Temperatura Usando un Termógrafo " Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1 No. 2 p.p.. 21 - 23. Río Cuarto 1997
- 7- Saravia, L. Echazú, R. Cadena, C , Condorí ,M. Cabanillas, C. Iriarte, A Bistoni, S., "Greenhouse Solar Heating in the Argentinian Northwest " Renewable Energy, Vol 11 No. 1 p.p. 119-128, 1997

Agradecimientos : Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por la financiación parcial de este proyecto y a Daniel Hoyos por las medidas de termografía.