

# APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO EN LA CALEFACCIÓN DE INVERNADEROS

J. Adaro, P. Galimberti, A. Lema, A. Barone  
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto  
Ruta Nac. 36 Km. 601 - 5800 Río Cuarto - FAX: 0586 - 676246

A. Fasulo  
Universidad Nacional de San Luis  
A. Iriarte  
Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Catamarca

## RESUMEN

La constancia de la temperatura de las aguas termales subterráneas es un factor de gran importancia con vista a su uso en agricultura. En el presente trabajo se describe y evalúa un sistema de calefacción que aprovecha la energía geotérmica para proteger térmicamente los cultivos en las frías noches de invierno y se adiciona una doble cubierta para disminuir pérdidas de energía calórica e infiltraciones.

El sistema completo demostró constituir una excelente propuesta para evitar la destrucción de los cultivos por heladas, constituyendo la única limitación la existencia del acuífero.

Se destaca que la inversión económica es reducida, considerando que la perforación para extraer el agua termal subterránea es una prioridad para disponer agua para el consumo y riego.

## INTRODUCCIÓN

Es sabido que cada vez son mayores los esfuerzos tendientes a lograr una climatización controlada bajo la cubierta de los invernaderos, que permita en la región central de nuestro país superar los problemas del excesivo enfriamiento nocturno que ocasiona la destrucción de los cultivos. Con este propósito se desarrollan distintos sistemas de calefacción adicional destinados a proveer la demanda de calor que se produce durante los días de invierno en los cuales la temperatura desciende debajo de 0°C, como así también medidas tendientes a disminuir las pérdidas de energía producida dentro de los invernaderos.

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar una propuesta económicamente viable de ahorro de energía y de protección térmica de los cultivos, para lo cual se analizó el comportamiento de una doble cubierta y se utilizó una fuente de calor que utiliza energía geotérmica.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Las características del sistema que conforma la propuesta de ahorro de energía, de calentamiento nocturno y de control están dadas por:

- 1) Tubería de distribución
- 2) Doble cubierta
- 3) Fluido calefactor.
- 4) Sistema de adquisición de datos

La tubería de distribución (manga) se fabricó con polietileno negro de baja densidad de 200  $\mu\text{m}$  de espesor, está colocada a nivel del suelo entre los surcos (excluidos los senderos de circulación de los operarios), conformando una longitud total de 60 metros. Existe una válvula de operación manual a la entrada del circuito que regula el caudal que circula por ella, fijándose en 0,25 litros/s. La disposición de la manga sobre el suelo permite que se emita calor simultáneamente hacia las inmediaciones de las raíces de la planta y hacia el ambiente del invernadero. El agua que abandona el circuito se utiliza para riego de cultivos exteriores, compensando la falta de riego natural debida a la sequía que se produce en esta región durante el invierno.

En la construcción de la doble cubierta se utilizó polietileno transparente de 50  $\mu\text{m}$  de espesor. Su función se concentra en disminuir las pérdidas por convección, como así también las infiltraciones que resultan muy importantes y perjudiciales a la vez por cuanto la región registra vientos durante todo el año ( $\bar{v}_m = 4,09$  m/seg para los meses de mayo, junio, julio y agosto) que al batir la cubierta genera grandes filtraciones que refrigeran el invernadero. Con la doble cubierta esta queda limitada a la cámara de aire contenida entre ambas.

Es utilizada agua a 28-29°C como fluido calefactor. El agua a esta temperatura, proviene de un acuífero confinado con características surgente y podemos suponerla, en las condiciones actuales, como una fuente infinita de energía.

El sistema de adquisición de datos está formado por una computadora tipo AT-286 con una tarjeta de adquisición de datos con 16 canales y 12 bits, que se encuentra instalado en una sala construida para tal fin.

## ENSAYO DEL PROTOTIPO

Este trabajo se presenta como continuación de una experiencia iniciada en el invierno de 1995 en un invernadero de 1000 m<sup>2</sup> ubicado en la granja SIQUEN de propiedad privada a unos 10 Km. de la ciudad de Rio Cuarto. Es importante destacar que existe un convenio con protocolo de trabajo entre la U.N.R.C. y la entidad privada a los fines de desarrollar libre y responsablemente los trabajos en el invernadero.

En aquella oportunidad, la propuesta fue aportar calor al suelo del invernadero, en las inmediaciones de las raíces de la planta, haciendo uso de la energía geotérmica proveniente del acuífero. La misma consistió en la colocación de una manga a lo largo de un surco en un sector extremo del invernadero y por allí hacer circular el agua proveniente del surgente.

De los resultados obtenidos se pudo inferir que el aporte de calor permitiría mantener a la planta, en condiciones tales de no sólo sobrevivir a las heladas sino de mantener la producción lo que haría posible efectivamente adelantarse a la producción estacional.

A partir de estas conclusiones se construyó un prototipo, un invernadero de 7 metros de frente por 15 metros de fondo, al cual se le añadió una doble cubierta y se instaló una tubería de distribución para la circulación de agua, que funcionaba a partir de las 17:30 hs y hasta las 9:00 hs del día siguiente. La apertura de la válvula para la entrada de agua al invernadero se realiza en forma manual.

Se pretendió analizar el comportamiento térmico del prototipo y compararlo con el de un invernadero situado a 3 metros del anterior, cuyos datos comparativos se detallan a continuación:

	Prototipo	Mayor
Ancho	7 m	21 m
Largo	15 m	45 m
Superficie del terreno	105 m <sup>2</sup>	945 m <sup>2</sup>
Superficie de la cubierta exterior	225 m <sup>2</sup>	1366 m <sup>2</sup>
Volumen	294 m <sup>3</sup>	2550 m <sup>3</sup>
Superficie de la cubierta exterior/Superficie del terreno	2,14	1,45
Volumen/Superficie del terreno	2,8 m	2,7 m

Tabla 1: Datos comparativos entre el invernadero mayor y el prototipo.

Al iniciar las experiencias (febrero de 1996) se transplantaron al prototipo plantines de distintas semillas de pimientos híbridos tipo Vidi, Predi y Ori. En mayo las plantas habían alcanzado una altura de aproximadamente 1,20 metros de alto. En el invernadero mayor, afectado a la producción primicia en 1995, las plantas para esa época, tenían un tamaño de 2 metros en promedio.

Se registraron temperaturas del agua a la entrada y salida del prototipo, del ambiente exterior, en el interior del invernadero mayor y del prototipo a diversas alturas. Se calculó el calor y la potencia que se entrega al sistema en las condiciones dadas. Se discriminó entre la energía entregada al aire y a la tierra, como así también lo no aprovechado.

En la figura se muestra un esquema de la instalación en planta y se indican los puntos donde se registraron temperaturas.

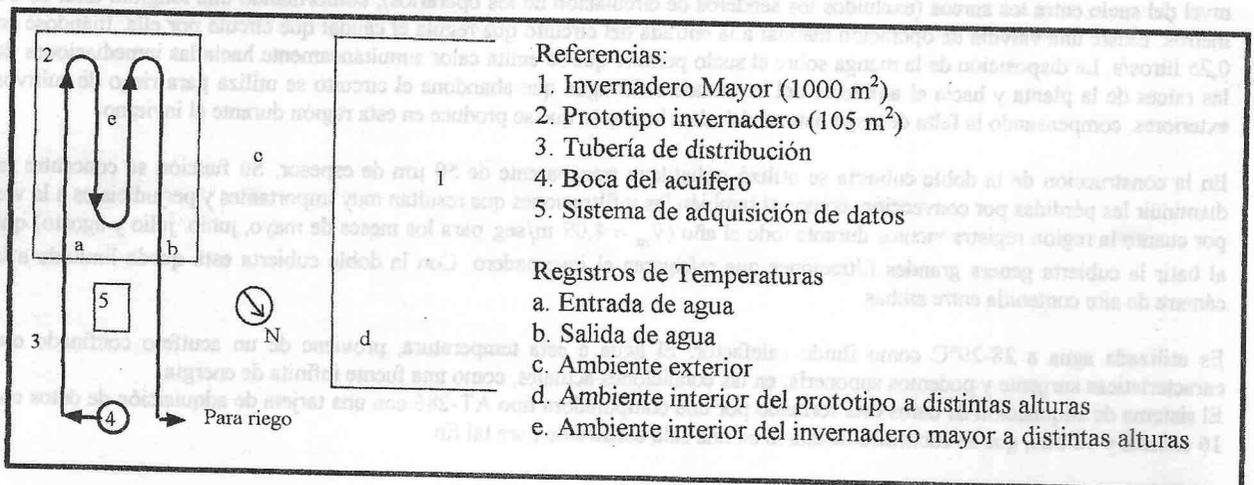


Gráfico 1: esquema de la instalación

## RESULTADOS

La revelación más importante se manifestó, durante las primeras heladas (mayo), instancias en las que el 70% de las plantas de pimientos del invernadero mayor se destruyeron, mientras en el prototipo no se produjeron pérdidas. La temperatura mínima exterior registrada durante el período invernal fue de  $-6^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el invernadero mayor alcanzó  $-3^{\circ}\text{C}$ , en el prototipo se registró  $1^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, un enfoque económico conduce a un balance positivo. Si bien la producción por hectárea en ambos invernaderos es semejante, el hecho de haber realizado una producción contraestación en el prototipo permitió obtener hasta el momento un precio por kilogramo de pimiento de superior a \$ 2,0 durante los meses de mayo, junio y julio, mientras que durante los meses de diciembre, enero, febrero el precio por kilogramo promedio fue inferior a la mitad.

Los resultados obtenidos susceptibles de ser cuantificados, se informan mediante cuadros y gráficos de registros de temperatura, potencias caloríficas y eficiencia.

Hora	19:00	1:00	8:00
Temperatura del prototipo.	13,5	5,0	3,8
Temperatura del invernadero mayor.	20,0	4,1	1,4
Temperatura exterior	9,0	0,1	0,4

Tabla 2 : Temperaturas nocturnas exterior y en los invernaderos [C].

Flujo másico de agua	0,25 Kg/seg
Temperatura media del agua a la entrada de la manga	20 °C
Temperatura media del agua a la salida de la manga	15 °C
Potencia media desarrollada	5,2 KW
Potencia máxima desarrollada	6,1 KW
Potencia calorífica media utilizable.	13,6 KW
Eficiencia del sistema.	37,6 %
Energía entregada al prototipo	240 MJ

Tabla 3 : Comportamiento nocturno del sistema de calefacción para un día típico de Julio (desde las 19:00 hs. hasta las 8:00 hs. del día siguiente).

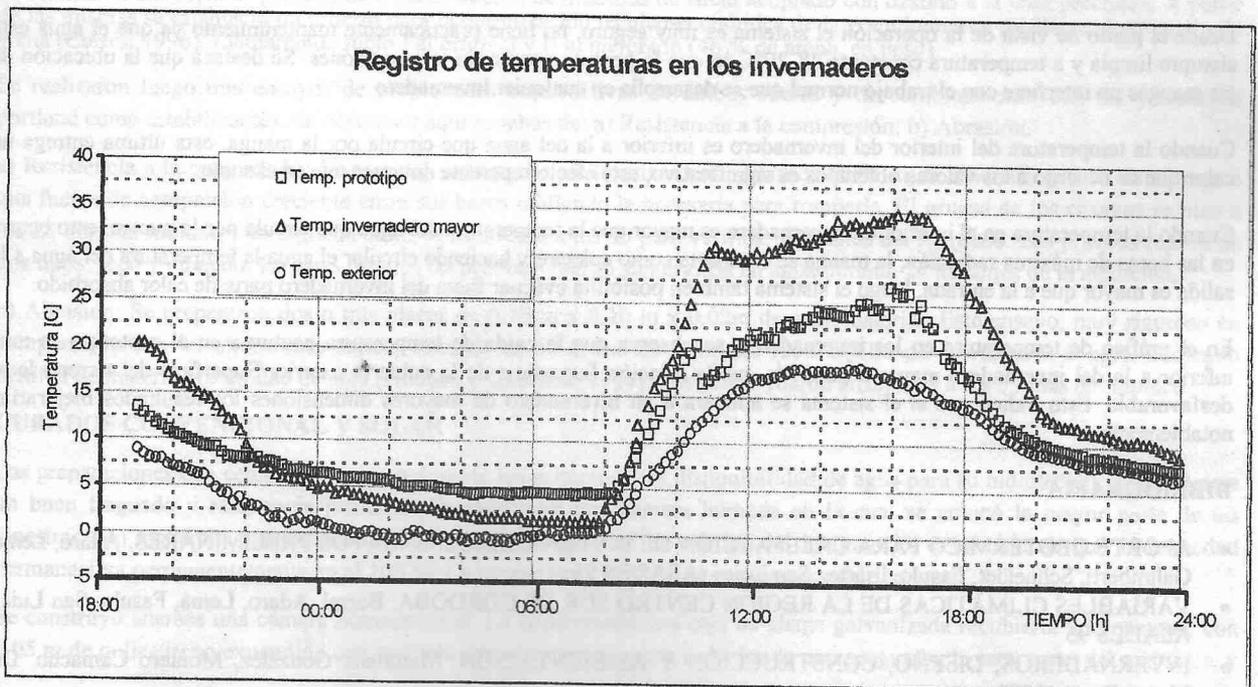


Gráfico 2: Evolución de temperaturas del aire en los invernaderos comparadas con la del ambiente exterior.

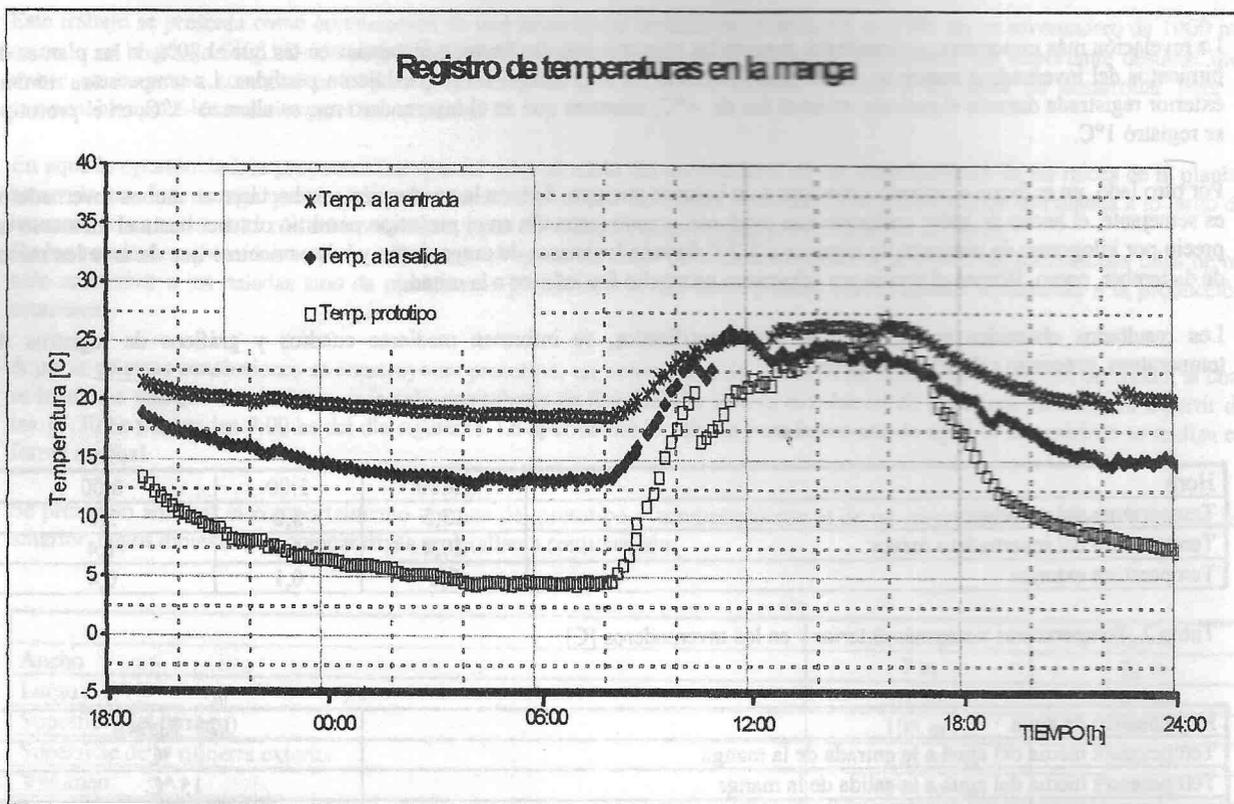


Gráfico 3: Evolución de las temperaturas del agua a la entrada y salida de la manga comparadas con la temperatura del aire en el prototipo.

## CONCLUSIONES

La manga distribuida entre los surcos del prototipo conjuntamente con la doble cubierta, constituyen una excelente alternativa permitiendo superar las heladas producidas en el mes de mayo y siguientes.

Desde el punto de vista de la operación el sistema es muy seguro, no tiene prácticamente mantenimiento ya que el agua está siempre limpia y a temperatura constante 28-29°C lo que le permite operar sin interrupciones. Se destaca que la ubicación de las mangas no interfiere con el trabajo normal que se desarrolla en cualquier invernadero.

Cuando la temperatura del interior del invernadero es inferior a la del agua que circula por la manga, esta última entrega un calor que de acuerdo a los valores obtenidos es significativo, este efecto repercute directamente en el suelo.

Cuando la temperatura en el interior del invernadero es mayor que la temperatura del agua que circula por la manga, esto ocurre en las horas de máxima radiación, la manga se comporta como colector y haciendo circular el agua la temperatura del agua a la salida es mayor que a la entrada, luego el sistema también posibilita evacuar fuera del invernadero parte de calor absorbido.

En el gráfico de temperatura en los invernaderos, se observa que la caída de temperatura nocturna en el prototipo es muy inferior a la del invernadero mayor a pesar de que la relación Superficie de la cubierta exterior/Superficie del terreno le es desfavorable. Esto indica que si el sistema se aplicara a un invernadero de mayores dimensiones los resultados mejorarían notablemente.

## BIBLIOGRAFÍA

- APORTE GEOTÉRMICO PARA CALEFACCIÓN DE INVERNADEROS: ENSAYOS PRELIMINARES. Adaro, Lema, Galimberti, Schneider, Fasulo, Iriarte. San Luis - ASADES 95
- VARIABLES CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN CENTRO SUR DE CÓRDOBA. Barral, Adaro, Lema, Fasulo. San Luis - ASADES 95
- INVERNADEROS, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AMBIENTACIÓN. Mattalana González, Montero Camacho. De Mundi-Prensa 1993.
- CALENTAMIENTO SOLAR DE INVERNADEROS EN LA PROVINCIA DE SALTA. Saravia, Echazú, Cadena, Cabanilla. ASADES 92