

ACONDICIONAMIENTO POR VÍA SOLAR DE UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÓNICO BAJO INVERNADERO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

L. R. Saravia², M. Quiroga, R. Echazú y C. Cadena²
INENCO¹

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina

Fax : 54-87-255489, E-mail: saravia@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

Los sistemas hidropónicos requieren de un acondicionamiento térmico que mantenga la temperatura en un valor que varía de 20 a 30 C dependiendo de la especie a cultivar, con el fin de lograr una buena productividad. En el presente trabajo se propone el uso de un invernadero prototipo con cubierta de plástico de 42 m² de superficie que utiliza un sistema de acondicionamiento térmico para invierno y verano. En el mismo se han incorporado los siguientes elementos para su ensayo : a) una cortina de techo aluminizada por debajo de la cubierta que permite regular el aporte de energía solar y disminuir las pérdidas térmicas nocturnas, b) un sistema activo de agua para controlar la temperatura de la solución en las bandejas hidropónicas, c) un sistema activo de aire con acumulador de piedra para controlar la temperatura del invernadero. Se discute su diseño y construcción.

INTRODUCCION

L. Saravia et al. (1993, 1995) han estudiado el acondicionamiento térmico de invernaderos de plástico en la región NOA mediante sistemas solares activos. La inversión requerida hace más factible estos sistemas si se usan métodos de cultivo de buena productividad. Los cultivos hidropónicos constituyen una alternativa posible, tal cual se describe, por ej., en Howard (1987) y FAO (1991). Ellos permiten usar una mayor densidad de plantas, aumentando el rendimiento por unidad de superficie, y mejorar la calidad del producto. Los mismos requieren un buen acondicionamiento que mantenga la temperatura en un valor que puede variar entre 20 y 30 C de acuerdo a la especie usada, tanto en invierno como en verano, que controle los niveles de humedad relativa y que disponga de un nivel adecuado de iluminación. En este trabajo se propone una combinación de sistemas de control térmico basados en el aprovechamiento de las condiciones climáticas locales, tales como los niveles de radiación solar, clima seco y diferencias de temperatura día-noche, para lograr el objetivo. Debido a las exigencias del requerimiento se ha planteado el uso de sistemas activos con controles automáticos basados en el uso de una microcomputadora que sensorará las condiciones térmicas del invernadero y las climáticas para definir el curso de acción.

Ante todo es necesario acondicionar el recinto tanto por problemas de baja como de exceso de temperatura. En la ciudad de Salta la temperatura media del mes más frío está en los 11 C, con mínimas absolutas de hasta -8 C, y se tienen saltos pronunciados entre el día y la noche. Para cubrir la diferencia de temperatura se aprovechará la energía solar que llega al propio invernadero y se utilizará acumulación para equilibrar las diferencias día-noche. La temperatura media de verano llega a 24 C con máximos absolutos de hasta 39 C, y también se producen diferencias grandes entre el día y la noche dando lugar sobre todo a excesos de temperatura diurnos. Por tales razones será necesario disipar buena parte de la energía solar incidente durante el día.

La humedad relativa del aire externo en la zona es baja, por lo que el exceso de humedad producido por la evapotranspiración de las plantas puede solucionarse con ventilación. Ello debe combinarse con las estrategias de calentamiento para evitar las pérdidas térmicas en lo posible. Finalmente, en la región se dispone de buenos niveles de radiación solar, tanto en invierno como en verano, por lo que no es usual tener problemas de nivel de iluminación dentro del invernadero. En las secciones que siguen se describirá el sistema hidropónico y los métodos de acondicionamiento utilizados así como los detalles constructivos respectivos. También se discutirá la estrategia de control a adoptar.

EL CULTIVO HIDROPÓNICO

El invernadero a utilizar tiene una estructura de arcos de hierro de 7 m de ancho y 3.50 m de alto con una longitud de 5.70 m. La Fig. 1 muestra un corte del mismo y la Fig. 2 una planta donde se aprecian los diversos elementos agregados. Está cubierto con plástico de polietileno transparente anti-UV y térmico. Se colocaron 5 bateas de 1.0 m de ancho por 5 m de largo construidas con un marco de madera, piso de tierra y una cubierta impermeable de polietileno negro. En las mismas se coloca solución salina con una altura de 15 cm y placas de poliestireno expandido que flotan sobre el agua y sostienen las plantas. Una bomba de 200 vatios recircula la solución, a la que se le van agregando las sales necesarias y se le controla el pH. Se ha planteado una batea de cierto espesor para disponer de una acumulación térmica en la solución.

LA CUBIERTA Y LA CORTINA ALUMINIZADA

Inicialmente se utilizará una cubierta y paredes de polietileno. Dado que el prototipo tiene un tamaño pequeño, el área de disipación térmica por la cubierta es grande referida al volumen por lo que las exigencias térmicas serán mayores que las

¹ Instituto UNSa - CONICET

² Investigador, Profesional Adjunto del CONICET

que ocurren en un invernadero productivo de tamaño industrial. De ser necesario se colocarían paredes de mejor comportamiento térmico, como ser placas de policarbonato alveolares.

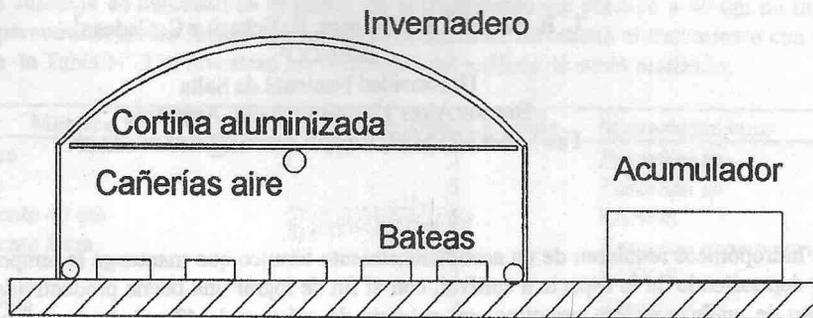


Fig. 1.- Corte esquemático del invernadero con las bateas hidropónicas, acumulador de piedra y cortina aluminizada.

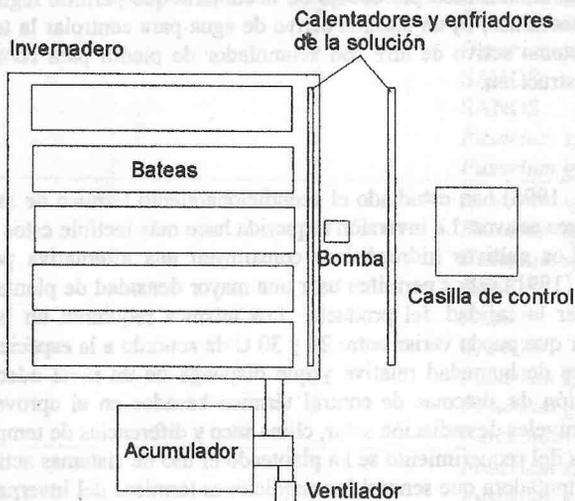


Fig. 2.- Planta esquemática del invernadero con el sistema hidropónico, acondicionador de la solución, acumulador de piedra y casilla de control y medida.

La cortina aluminizada está constituida por un tramado de plástico aluminizado que deja pasar el 40 % de la radiación incidente y refleja el resto. Estará plegada en un costado y cuando se requiera su uso se estirará para cubrir las plantas a largo de alambres tensados mediante un motor. La cortina cumple un doble propósito:

- por un lado, puede cortar excesos de radiación solar que estén calentando el invernadero, dejando pasar un nivel suficiente para mantener el crecimiento de la planta. La reflexión del resto evita el calentamiento interno por absorción como ocurre con las cortinas negras.
- Por otro lado corta la convección del aire formando una cámara entre la cortina y el techo que disminuye las pérdidas térmicas, y corta la radiación nocturna hacia el cielo colaborando con el polietileno del techo, que tiene un aditivo con igual propósito.

Las estrategias de uso que se pueden plantear con la cortina son :

- correrla durante el verano en las horas del día cuando haya exceso de radiación solar que está calentando demasiado el invernadero.
- correrla durante las noches, especialmente en invierno, cuando la temperatura del invernadero está disminuyendo rápidamente, con el fin de controlar las pérdidas térmicas por el techo, ya sea convectivas o por radiación nocturna hacia el cielo.

CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SOLUCION

La solución que alimenta las plantas se guarda en las propias bateas con una profundidad adecuada, haciendo las veces de acumulador térmico. Un colector solar vertical de plástico es colocado en la pared sur. Está construido en forma similar al usado en invernaderos por Saravia et al.(1993). Consta de dos láminas de polietileno pegadas para formar una bolsa que se forma por soldadura un paso en zigzag para la solución, que es elevada por la bomba y cae por gravedad dentro de la bolsa para retornar a las bateas. Este colector, al estar en la pared sur, puede ser negro y capturar radiación que perdería de otra manera. Fuera del invernadero se coloca otro sistema similar que actúa como enfriador de la solución, que al ubicarse externamente puede aprovechar las bajas temperaturas nocturnas. Dos llaves automatizadas conectan la bomba a un sistema u otro de acuerdo a las necesidades.

Las estrategias de uso a plantear con el acondicionamiento de la solución son :

a) Durante el invierno la solución en las bateas se ha enfriado durante la noche. Cuando sube la temperatura dentro del invernadero, la bomba se conecta a las bolsas internas y el agua circula calentándose. La circulación se detiene si las bateas suben excesivamente de temperatura.

b) Durante el verano la solución en las bateas se va calentando durante el día. Cuando baja la temperatura externa al anochecer, la bomba se conecta a las bolsas externas y el agua circula enfriándose. La circulación se detiene si las bateas se enfrían excesivamente.

La temperatura de la solución no debe variar muchos grados ya que las raíces de las plantas están en contacto directo con ellas. Las pérdidas térmicas desde las bateas serán moderadas ya que las mismas están en contacto con el aire del invernadero, que está siendo sometido a un control separado. Las bateas tendrán una capa de aislación, poliestireno expandido, por encima, donde se colocan las plantas, la que evita las pérdidas térmicas y la evapotranspiración desde la superficie de la solución. La solución deberá ser sometida a un control de pH al salir de la bomba, con una corrección automática. Las sales deberán agregarse periódicamente. La cantidad de solución contenida en las bateas es de 3 m³ con una capacidad térmica de unos 60 Mj para un salto de temperatura de 4 C. Debe tenerse en cuenta que no es conveniente producir mayores saltos de temperatura día-noche en las raíces de las plantas.

ACONDICIONAMIENTO TERMICO DEL AIRE EN EL INVERNADERO.

Se plantea el acondicionamiento del invernadero por un sistema activo de aire donde el propio invernadero actúa como colector durante el invierno. La energía recogida durante el día como aire tibio, es guardada en un acumulador de piedra y devuelta a la noche por circulación del aire desde el acumulador al invernadero. Durante el verano el aire fresco nocturno pasa por el acumulador enfriándolo. Durante el día se circula el aire del invernadero por el acumulador refrescando la estructura.

Las plantas tienen una evapotranspiración alta, por lo que el sistema debe manejar el aumento de la humedad del aire en el invernadero durante el día, la cual consume una buena parte de la energía solar incidente, más del 50% del total cuando la planta está crecida. Con este fin se consideran dos posibles circulaciones del aire:

a) Si la humedad en el invernadero es alta se usa un circuito abierto. El aire que el ventilador toma durante el día del local pasa por el acumulador dejando su temperatura y es enviado directamente al exterior. El aire externo, seco, entra al local por las aberturas naturales del mismo. Durante la noche se usará recirculación ya que el aire externo es muy fresco e impondría una carga extra al acumulador.

Será conveniente que no se produzca condensación en el acumulador evitando que la humedad, absorbida por las piedras, vuelva al local.

b) Si la humedad es baja o las condiciones térmicas no recomiendan la renovación fuerte de aire, se usa un circuito cerrado. El aire que sale del acumulador se vuelve al local y no hay extracción de humedad.

Se usa un diseño de bajo costo para la construcción del acumulador, teniendo en cuenta la experiencia recogida con acumuladores usados en el secado de tabaco, Saravia et al (1979, 1981, 1976). Esos acumuladores fueron construidos con la técnica tradicional, usando un silo con un piso levantado por el cual entra el aire y circula de abajo a arriba a través de las piedras. Aquí se propone usar acumuladores con circulación horizontal, donde la piedra descarga su peso en el suelo y está sostenida por paredes hechas de postes y alambre recubierto con plástico para evitar las pérdidas de aire. La Figura 3 muestra un corte del acumulador a usar. Consta de dos secciones a una distancia de 30 cm entre ellas para formar el ducto de acceso del aire. Al otro lado se tienen ductos en plástico que recogen el aire y lo retornan al distribuidor colocado a un lado del acumulador. Cada sección tiene 3 m de largo, 1 m de alto y 1 m de profundidad a lo largo de la cual circula el aire. El volumen total es de 6 m³, con un contenido de piedra en el orden de los 10800 kg. La piedra colocada sobre la aislación tiene como fin evitar que la presión de aire levante el plástico. También sostiene el plástico que protege de la lluvia.

El flujo de aire durante la descarga del acumulador debe realizarse en sentido contrario al flujo durante la carga. La Fig. 4 muestra una planta del acumulador donde se aprecia la llave utilizada a tal efecto, la que se maneja con un motor. El flujo de diseño del acumulador es de 15 m³ por minuto, permitiendo su carga o descarga en una 8 horas. El flujo de aire produce unas 7 renovaciones por hora dentro del invernadero. La capacidad térmica del sistema es de unos 100 Mj para un salto de temperatura de 10 C.

MEDIDA Y CONTROL DEL SISTEMA

La medida de las principales variables de interés y el control de las operaciones se realiza con una microcomputadora provista de una tarjeta de adquisición de datos Keithley 1600. Las medidas de temperatura se llevan a cabo con diodos de silicio y las de humedad con puntas de prueba capacitivas Vaisala. Se mide la radiación solar incidente con un solarímetro Kipp y Zonen y la velocidad de viento mediante un anemómetro de cazoletas con salida eléctrica BAPT. Las salidas digitales de la tarjeta permiten manejar el encendido y apagado de los motores que controlan la bomba de solución, las válvulas de control de flujo de la solución, el control de pH, el ventilador, la llave de inversión de flujo en el acumulador y el corrimiento de la pantalla aluminizada. Ello se hará en función de las medidas que se realicen siguiendo una estrategia basada en los conceptos ya mencionados

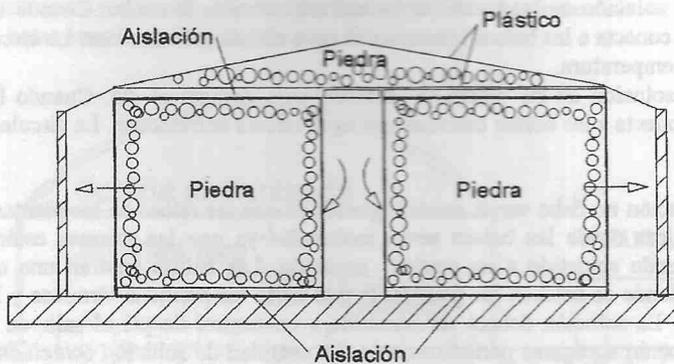


Fig. 3.- Corte del acumulador de piedra mostrando las dos secciones y los ductos de entrada salida.

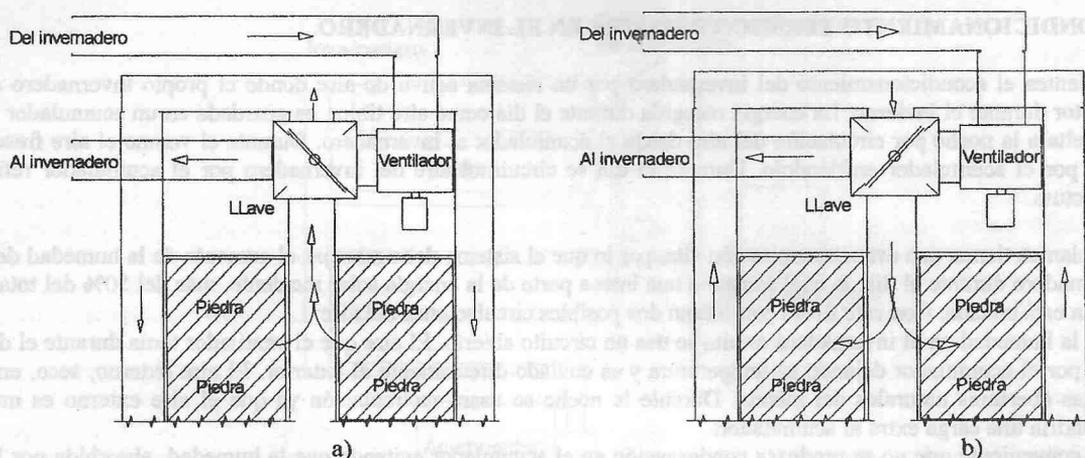


Fig. 4.- Planta esquemática del acumulador mostrando la conexión a la llave que permite invertir el flujo de aire en el acumulador. La figura b) ilustra el proceso de carga y la a) el proceso de descarga. Algunas cañerías están situadas a distinto nivel por lo que los cruces no causan problemas

CONCLUSIONES.

En trabajos pasados, los autores han puesto a punto un sistema de acondicionamiento solar de invernaderos basado en circuito de agua y acumulación en un depósito de agua enterrado. Aquí se presenta una alternativa que usa un circuito aire y un acumulador de piedra. El prototipo construido permitirá realizar una comparación que incluya los aspectos económicos. Ambos sistemas tienen partes con costos diferentes que se compensan, por lo que no es evidente decidir entrada cual tiene mejores perspectivas. El acumulador de agua es más compacto y de construcción más sencilla. En cambio el sistema de aire no precisa de colectores especiales y no se necesitan instalaciones de envergadura colocadas dentro del invernadero. El ventilador tiene un costo mayor y consume algo más de energía eléctrica que la bomba, pero el circuito aire tiene menos problemas de mantenimiento ya que las pérdidas de aire no son tan críticas como las de agua y no existen posibilidades de contaminación con algas que son difíciles de dominar. Finalmente, cabe indicar que se ha procurado obtener una integración total entre el sistema de acondicionamiento térmico y el agrícola. En el diseño que se presenta ha hecho un esfuerzo especial para bajar los costos relacionados con el acumulador. Se ha elegido un flujo horizontal que no requiere de bases o paredes costosas y se ha ideado una llave sencilla para invertir el flujo.

REFERENCIAS

- L. Saravia, y otros, *Greenhouse Solar Heating in the Province of Salta*. Proceedings of the 18th National Passive Solar Conference, ASES, Vol 18, pp. 103, Washington, 1993.
- L. Saravia, R. Echazú, M. Condorí, M. Quiroga y C. Cabanillas. *Sistema solar activo para calentamiento invernaderos*. Publicado en las Actas de la XIX Reunión Nacional de Energía Solar, Organizada por la Asociación Mexicana de Energía Solar. La Paz, Baja California Sur. pág. 483, 2 al 6 de octubre de 1995.
- L. Saravia y E. Alanis, *El diseño de los acumuladores de piedra*. Actas de la 2da. Reunión de Trabajo de Energía Solar Argentina, pp. 137, julio 21-24 de 1976.
- L. Saravia, E. Frigerio, J. Pérez, I. De Paul y M. Gay, *Proyecto y ensayo de componentes de un secadero solar de tabaco Virginia*. Actas de la 5a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, Córdoba, pp. 269, 1979.
- L. Saravia, E. Frigerio, I. De Paul y R. Echazú. *Programa de secado solar de tabaco: 2da. Fase*. Actas de la 7a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, Rosario, pp. 11, 1981.
- M. Howard. *Hydroponic food production*. Woodbridge Press, Publishing Company, USA, 1987.
- FAO. *Soilless culture for horticultural crop production*, FAO plant production paper, pp 101, Fao, Rome, 1991