

CONSTRUCCION Y ENSAYO DE UN INVERNADERO SEMIENTERRADO

Lara, M.A., Cassinera, A., Panelo, M., Piacentini, R.D.

RESUMEN

Los cultivos bajo invernadero soportan diversos problemas derivados de las temperaturas extremas, características de nuestra zona (Pampa Húmeda). Para minimizar los mismos, se debe recurrir al acondicionamiento térmico.

Una alternativa que si bien no es del todo aplicable en la producción comercial, es la utilización del efecto regulador que presenta la masa térmica del suelo. A tal fin se diseñó y construyó en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNR) en la localidad de Zavalla un recinto semienterrado que permitiese aprovechar esa ventaja.

Se presentan los valores obtenidos de temperaturas en diferentes puntos del sistema, como así también humedad relativa y radiación solar (dentro y fuera del recinto) durante el período invernal, para diferentes combinaciones de cubiertas.

La utilización de este tipo de sistema semienterrado se ve restringida al desarrollo de actividades que requieren poca superficie como por ejemplo: investigación, producción de plántulas, plantas ornamentales, etc., debido a que el balance térmico se hace menos favorable cuando la relación entre el perímetro y la superficie expuesta se incrementa por encima de ciertos límites de diseño.

INTRODUCCION

El balance energético de los invernaderos convencionales muestra períodos (verano e invierno) donde se hace necesario un aporte de energía (calefacción o ventilación) para adecuar estos ambientes a los requerimientos de los cultivos.

Resulta de gran importancia para la producción vegetal, el desarrollo de sistemas eficientes que permitan minimizar los aportes externos de energía en las épocas menos propicias (1), (2).

El objetivo de este trabajo es el aprovechamiento de la energía solar para reducir el consumo energético en invernaderos, transfiriendo al sistema productivo una nueva tecnología.

En las construcciones sobre el nivel del terreno, las variaciones de temperatura están influenciadas por las condiciones climatológicas locales. En cambio, las subterráneas presentan una amplitud térmica estacional que disminuye con la profundidad. Esta importante propiedad de atenuación de las temperaturas extremas, se debe a que la masa del suelo posee una importante inercia térmica que le permite, durante los meses más fríos del año, mantener una temperatura superior a la media del aire (Fig.1), cediendo energía al recinto enterrado en las horas en que no hay a-

Grupo de Energía Solar, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR)
Avda. Pellegrini 250 - 2000 Rosario

portes por radiación solar. Al mismo tiempo es un buen aislante térmico, con lo que reduce la transferencia de calor con el medio ambiente exterior.

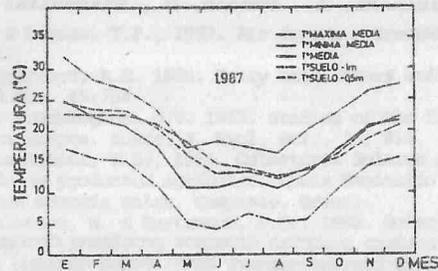


Fig. N° 1: EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL SUELO DURANTE EL AÑO

Al construir un invernadero semienterrado (Fig.2), se aprovechan las propiedades térmicas del suelo, pero además, se protege a todo el sistema de los vientos dominantes, lo cual agrega un factor positivo al balance energético, y se reduce significativamente el riesgo de destrucción mecánica, muy frecuente en las estructuras convencionales.

Sabiendo que la cubierta superior constituye un factor crítico en el balance energético del invernadero, se ensayaron tres tipos diferentes en situaciones similares. Esta cubierta adquiere fundamentalmente importancia debido a que es el único lugar por donde penetra la radiación solar y donde se produce la mayor pérdida de energía. De aquí se desprende la importancia del diseño general ya que se deben ajustar distintos parámetros como superficie de paredes, volumen total y superficie de cubierta en función del balance energético.

MATERIALES Y METODOS

CONSTRUCCIÓN

El esquema general del prototipo de invernadero aparece en la Fig.2. La excavación se realizó manualmente colocando parte de la tierra extraída en los laterales, lo que conforma un talud perimetral. Las dimensiones del pozo realizado son: 35 m² de superficie y 2 m de profundidad, lo que hace un volumen de 70 m³, que se incrementa en 14 m³ con la porción que se encuentra por sobre el nivel del suelo.

Para evitar derrumbes debidos a la erosión y prolongar su vida útil, se realizaron trabajos de mampostería en los laterales.

Se puede observar en la Fig.2 la distribución de 6 caños verticales a diferentes alturas para lograr una ventilación natural.

Previéndose que las mayores pérdidas se producirían por la parte superior (techo), se ensayaron tres tipos de cubiertas: polietileno UV (100%), rafialón 500/3x1/100 (80%) y doble techo, rafialón 500/3x1/100 (80%) más polietileno cristal (50%) con una cámara de aire de 12 cm. La relación medida entre la radiación transmitida con respecto a la incidente es de: 65%, 48% y 43% respectivamente.

Se terminó de construir el prototipo en marzo de 1987. Se tomaron registros en los periodos invernales 87/88 a través de un sistema de adquisición de datos (Fluke 2240B) de temperaturas con termocuplas de cobre-constantan (Norma NBS), de humedad con transductores Vaisala HMT14, y de radiación solar con solarímetros Kipp Zonen CM5. La ubicación de los sensores se muestra en la Fig. 3.

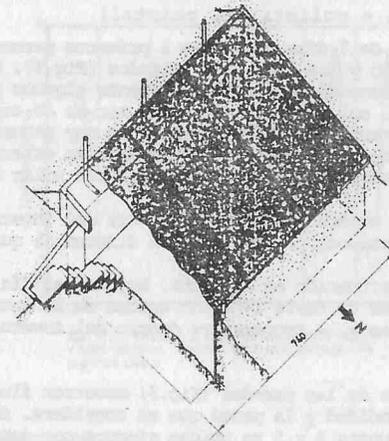


Fig. N° 2: ESQUEMA GENERAL DEL INVERNADERO SEMI-ENTERRADO

Se efectuaron también pruebas de comportamiento biológico en el periodo invierno-primavera. Para evaluar la posibilidad de uso del recinto subterráneo, para cultivo de especies hortícolas, se dividió el mismo en dos sectores. La superficie de cada uno de ellos se cuadrículó a 0,90 (E-W) x 0,98 m (N-S) de modo de ubicar 20 plantas equidistantes unas de otras, y distribuidas de tal manera que registrasen las variaciones ambientales producidas en todos los puntos. En el centro de cada cuadrícula se ubicó un recipiente de 15 l, conteniendo una mezcla de tierra y mantillo (70% y 30% respectivamente) desinfectada con bromuro de metilo.

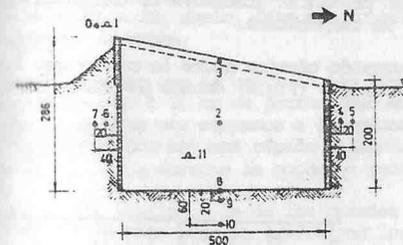


Fig. N° 3: CORTE TRANSVERSAL DEL INVERNADERO Y DISTRIBUCIÓN DE SENSORES:
• TERMOCUPLAS ▲ SOLARÍMETROS

NOTA: Los números que identifican cada una de las curvas de las Figuras 4 a 12 se refieren a esta distribución de sensores.

En el sector W, se sembró el 1/7/88 poroto chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Bali en Ancha de Rama, a razón de 4 semillas por tarrol. Las plantas se tutoraron con hilo plástico. En el sector E se transplantó el 1/8/88 tomate indeterminado (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Carmelo FI.

Se eligieron estas dos especies, porque se conoce su comportamiento a campo y bajo arriegos tradicionales, por experiencias anteriores del grupo de trabajo.(3).

RESULTADOS Y DISCUSION

DOBLE TECHO (rafialón + polietileno cristal)

Se presenta una secuencia de 7 días donde los 3 primeros permanecieron nublados, el cuarto parcialmente nublado y los 3 últimos soleados (Fig.4). Durante los cuatro días la temperatura fue descendiendo, aunque presenta algunos picos coincidentes con breves apariciones del sol. En estos días las curvas de temperatura de las paredes se mantienen prácticamente a un mismo nivel, con muy pequeñas fluctuaciones (Fig.5), ubicándose siempre por encima de la temperatura exterior y aún por encima de la del ambiente del invernadero, cuando la radiación solar no fue importante.

Las curvas de temperatura exterior y ambiente dentro del invernadero siguen aproximadamente las mismas inflexiones, aunque con una diferencia que va desde 4 a 6°C.

En los días soleados, la situación es distinta. Durante el día, la temperatura del invernadero alcanza valores de hasta 14°C por encima de la exterior. Durante las noches se registraron heladas y la temperatura dentro del invernadero fue de hasta 9°C superior a la externa.

Las curvas de temperaturas de las paredes (Fig.5) muestran fluctuaciones diarias, que varían según la profundidad y la pared que se considere. Se puede observar que las temperaturas en los puntos 4 y 5 se ubican siempre por debajo de las registradas en los puntos 6 y 7. Esto se debe a que la pared sur está expuesta a la radiación solar, cosa que no ocurre con la opuesta. Por ello la curva 5 presenta fluctuaciones menos marcadas que las del punto 7, estando situados en lugares homólogos de ambas paredes.

El efecto que produce el doble techo puede observarse en la Fig.6. Durante los días nublados, la temperatura en la cámara entre las dos cubiertas se mantiene durante todo el día con una diferencia de aproximadamente 1°C respecto del resto del ambiente interno. En los días soleados, esta diferencia se registra solamente a partir de las últimas horas de la tarde, y durante la noche en forma más marcada.

La utilización del doble techo presenta ciertas ventajas en las noches, en días nublados y en días fríos; en los soleados su presencia disminuye la transmitancia de la radiación solar, sin producir aumento de temperatura.

Durante los días 6 y 7 se observa una inversión térmica entre la cámara que forman las dos cubiertas, y el ambiente del invernadero (Fig.6) debido posiblemente al calor latente de condensación.

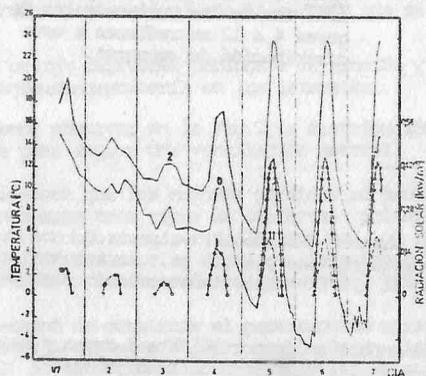


Fig. N° 4: EVOLUCION DE LA TEMPERATURA Y RADIACION EXTERIOR E INTERIOR. CUBIERTA: DOBLE TECHO RAFIALON + POLIETILENO CRISTAL

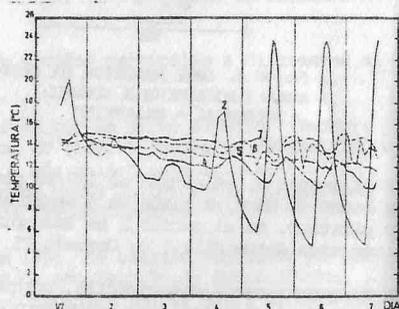


Fig. N° 5: EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DE LAS PAREDES. CUBIERTA: DOBLE TECHO RAFIALON + POLIETILENO CRISTAL

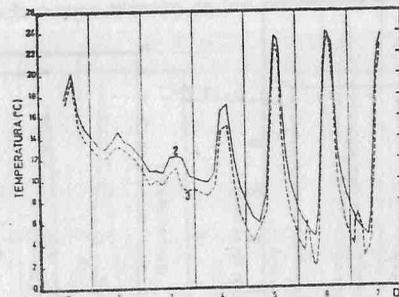


Fig. N° 6: EVOLUCION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE INTERIOR Y CÁMERA CUBIERTA. CUBIERTA: DOBLE TECHO RAFIALON + POLIETILENO CRISTAL

SIMPLE TECHO DE RAFIALON

La evolución de la temperatura de paredes y ambiente interior y exterior, es similar a la situación de doble techo (Fig.7 y Fig.8). Durante el día, el ambiente exterior y el del invernadero mantienen una diferencia de 11 a 14°C en los momentos en que se registran los picos de máximas; mientras que durante la noche más fría del período analizado, la diferencia entre los picos de mínima fue de 8°C. En valores absolutos no hay diferencias significativas entre las temperaturas logradas con doble y con simple techo.

Las curvas de temperatura de las paredes también son similares a la situación anterior, en cuanto a sus fluctuaciones y valores absolutos. En ambos casos los picos de máxima y mínima de las paredes se presentan con un retardo de 3 a 8 horas, con respecto a los picos del ambiente, según la profundidad que se considere, debido a la inercia térmica del suelo. Este efecto permite que el recinto siga recibiendo energía durante la noche.

Se puede observar que la curva de las temperaturas registradas en el punto cuatro, que está ubicado a 20 cm de profundidad en la pared no insolada, presenta sus picos máximos y mínimos muy cercanos a los picos de temperatura ambiente. Esto se debe a que durante el día hay una rápida ganancia de energía cedida por el ambiente y una pérdida más lenta durante la noche en sentido inverso.

En situación similar a la de las paredes se presenta con las temperaturas del suelo (Fig.9). En este caso se graficaron los registros tomados en superficie y en dos puntos a 20 y 60 cm de profundidad. La temperatura medida en superficie sufre oscilaciones similares a la del ambiente aunque con una amplitud menor. A medida que se consideran puntos más internos a la masa de tierra, las fluctuaciones son mucho menores, y a 60 cm la temperatura es casi invariable y se mantiene siempre por encima de la registrada a 20 cm. Al igual que en las paredes, los picos de máxima y mínima están desfasados algunas horas con respecto a los picos de temperatura ambiente.

SIMPLE TECHO DE POLIETILENO UV

Las características de las curvas de temperatura ambiente exterior son similares a las situaciones anteriores en que se daban días soleados (Fig.10).

Durante el día, los picos máximos presentan una diferencia de 8 a 10°C, mientras en la noche, los picos de mínima están separados por 4 a 6°C. Ambas diferencias son inferiores a las presentadas en las dos situaciones anteriores, donde se registró al menos de 14°C durante el día y 9°C durante la noche.

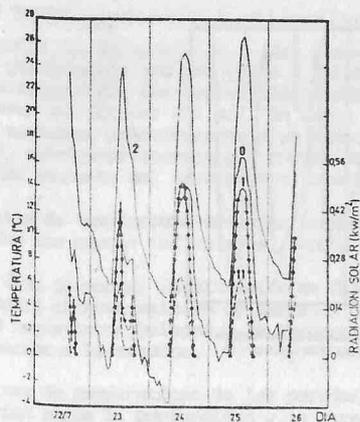


Fig. N° 7. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA Y RADIACION EXTERIOR E INTERIOR. CUBIERTA: SIMPLE TECHO RAFIALON

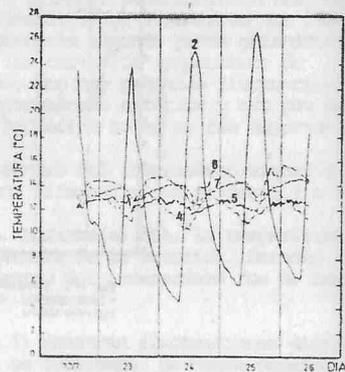


Fig. N° 8. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DE LAS PAREDES. CUBIERTA: SIMPLE TECHO RAFIALON

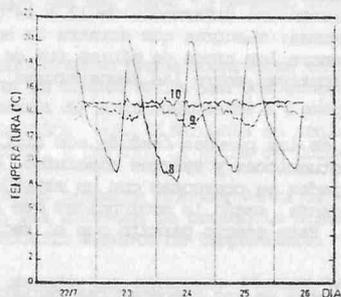


Fig. N° 9. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DEL SUELO. CUBIERTA: SIMPLE TECHO RAFIALON

Otra diferencia importante, es la marcada separación que presentan las curvas (Fig. 11) de temperatura de la pared insolada con respecto a las de la pared sombreada. Si bien esto también se produce en los casos anteriores, este fenómeno es más significativo en esta situación. Se debe a que la cubierta utilizada deja pasar una cantidad de luz mucho mayor que la empleada en las situaciones anteriores por lo que la pared insolada presenta temperaturas superiores a la sombreada. Si comparamos los valores alcanzados por la pared insolada en las distintas situaciones, vemos que con la cubierta de polietileno UV se registran temperaturas hasta 5°C superiores a las de las otras dos cubiertas, además por la mayor excitación presenta fluctuaciones de mayor amplitud. Si bien esta cubierta posee mejores propiedades ópticas, no muestra buenas propiedades térmicas, lo cual puede explicar en parte la menor diferencia entre los picos de máxima y mínima entre el exterior y el recinto.

Otro aspecto destacable es la distinta dinámica de calentamiento-enfriamiento que presentan ambas paredes a distintas profundidades, lo que se refleja en el desfase que presentan los picos de máxima y mínima (Fig.11).

Si comparamos las temperaturas del suelo registradas en las situaciones de las Fig.9 y 12, vemos que en ambos casos la temperatura a 60 cm se mantiene por encima de la registrada a 20 cm aunque en el segundo caso (Fig.12) la curva se ubica muy cercana a los picos de máxima registrados en la superficie, en tanto que en la otra

situación (Fig.9) la misma curva toma valores intermedios. Este efecto podría deberse al distinto comportamiento térmico de las cubiertas.

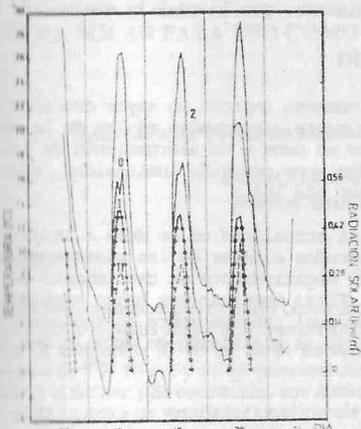


Fig. N° 10. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA Y RADIACION EXTERIOR E INTERIOR. CUBIERTA: SIMPLE TECHO Y KIT FILEDO UV

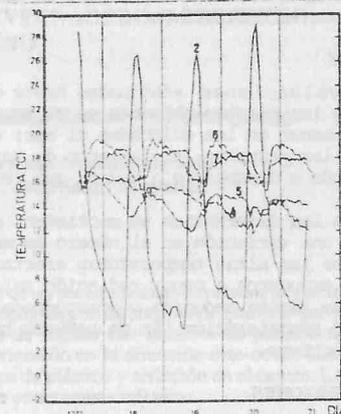


Fig. N° 11. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DE LAS PAREDES. CUBIERTA: SIMPLE TECHO DE POLIETILENO UV

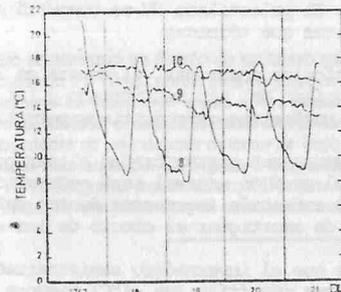


Fig. N° 12. EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DEL SUELO. CUBIERTA: SIMPLE TECHO POLIETILENO UV

COMPORTAMIENTO DE ESPECIES HORTICOLAS

BORRITO CHAUCHA

Se notó una diferencia marcada en la velocidad de emergencia de las plántulas, siendo menor (17 días) en el sector más sombreado (N), aumentando hacia los sectores más iluminados (S) (7 días). Debido a ello, las plantas que emergieron antes ganaron en altura y anticiparon la floración.

A los 45 días de la siembra, realizada el 1/7, se prestaron condiciones climáticas de alta temperatura y humedad poco frecuentes para esta época, por lo que no se pudo realizar una adecuada ventilación. Debido a esto, las plantas detuvieron el crecimiento y las funciones reproductivas al llegar la temperatura al límite máximo tolerado por la especie (38-40°C) para su normal crecimiento.

A esto debe agregarse que las condiciones de alta temperatura y elevada humedad rela-

lativa (superior a 65%) favorecieron el ataque de patógenos (bacterias y hongos) que frenaron la evolución normal de las plantas, por lo cual la evaluación de las mismas se ve dificultada.

TOMATE

Las evaluaciones efectuadas hasta el momento indican un mayor crecimiento en altura de las plantas ubicadas en el sector norte, intermedio en las de la zona central y menor en las colocadas al sur; esto se debe a un alargamiento de los entrenudos de las primeras (ahilamiento de tejidos) por reducida luminosidad, efecto que se atenúa o desaparece a medida que reciben más luz.

Si bien las diferencias se mantienen, en la actualidad no se debe a la misma causa, sino a una variación en el número de entrenudos a favor de las plantas del sector N, dado que las altas temperaturas afectaron negativamente el crecimiento de los individuos expuestos a mayor radiación solar. Estas muestran sus hojas superiores más finas y de lámina reducida y acartuchada, lo cual influye sobre la reducción de la capacidad fotosintética. En un próximo trabajo se analizarán en detalle los parámetros reproductivos.

CONCLUSIONES

Durante el período analizado, el sistema se mostró capaz de aprovechar la energía acumulada en el suelo durante el año y las variaciones diarias de temperaturas que producen un aporte energético en las horas en que no se registra radiación solar.

La cubierta de rafia mostró buenas propiedades térmicas y ciertas limitaciones en sus propiedades ópticas. El polietileno UV se comportó a la inversa, ya que mostró mejores propiedades ópticas que térmicas.

De las dos especies hortícolas ensayadas, el tomate es la mejor adaptada, variando su respuesta según el período del año considerado y las variaciones ambientales producidas. El análisis de parámetros reproductivos permitirá completar la información.

Las observaciones realizadas con posterioridad al período de experimentación permiten adelantar que para el período estival será necesario reducir, con cubiertas protectoras, la cantidad de radiación ingresante dentro del recinto y aumentar la ventilación con el propósito de amortiguar el efecto de las altas temperaturas.

Un aspecto importante es que el invernadero semienterrado, con cualquier tipo de cubierta, y aún en las noches más frías (de -4°C) siempre mantuvo temperaturas del aire interior superiores a 4°C, con lo que se logra evitar el riesgo de muerte de las plantas ensayadas, sin recurrir a ningún aporte de energía convencional. Por el contrario, los invernaderos tradicionales (sin calefacción) no logran evitar estos riesgos, ya que se producen heladas en su interior en situaciones extremas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración prestada por las siguientes entidades: Panamericana de Plásticos S.A.I.C., Facultad de Ciencias Agrarias (UNR) y CONICET a través de Proyectos de Investigación y Desarrollo.

REFERENCIAS

- (1) Environmental Control For Animals And Plants - Ashrae Handbook. Chapter 22 (1978)
- (2) Control del Medio Ambiente Bajo Invernadero y Tunel Plástico. Tamaka M. y Genda H. Japan International Cooperation Agency; (1983).
- (3) Inrormes Técnicos. Consejo de Investigaciones Rosario (CIUNR-UNR). Pabelo M. y Nakayama F. (1983/87).