

MICROTUNELES HORTICOLAS BICAPA CON POLIPROPILENO ALUMINIZADO. PARTE I: MODELIZACION.

Levit, H., Lara, M.A. Y Piacentini, R.
Grupo de Energía Solar,
Instituto de Física Rosario (CONICET - UNR)
Bv. 27 de Febrero 210 Bis - 2000 Rosario
Tel: 041-853200 / 853222

RESUMEN

En este trabajo se analiza, en forma teórica, el microclima de un microtúnel bicapa cuya capa inferior es de polietileno transparente y la capa adyacente superior es de polipropileno aluminizado. Los microtúneles constituyen un sistema ampliamente adoptado en la horticultura como método para mejorar las condiciones ambientales de los cultivos. Generalmente el material utilizado para dicha técnica está constituido de polietileno transparente. En este caso se estudia la combinación del polietileno más el agregado de una capa de polipropileno aluminizado por encima de la anterior. De esta forma se disminuyen las pérdidas de calor nocturnas, durante el invierno, desde el suelo y las plantas hacia el ambiente exterior.

En este trabajo se describen las ecuaciones que constituyen el modelo matemático utilizado para simular los procesos de intercambio de calor y materia que ocurren en el sistema descrito y se aplica para la modelización de un caso concreto que fue ensayado experimentalmente (Microtúneles hortícolas bicapa con polipropileno aluminizado. Parte II: ensayos).

El sistema analizado consiste en un microtúnel cuyas dimensiones dependen del tamaño de los cultivos protegidos pero que en general no supera los 60 cm. de altura y el metro de ancho. La estructura de sostén es de alambre de acero por el interior y exterior del microtúnel. Durante la noche ambas capas permanecen cerradas lo más herméticamente posible. Al amanecer se remueve la capa superior de polipropileno aluminizado y, según la temperatura diurna y la insolación, puede ser removida la capa inferior de polietileno.

Se presentan los resultados teóricos de la simulación para diferentes condiciones externas y de operación. Se analiza mediante el mismo modelo matemático modificado el sistema de microtúnel tradicional de una sola cubierta (polietileno transparente).

INTRODUCCION:

En nuestro país el uso de sistemas para la protección térmica de cultivos tiene su mayor exponente en los invernaderos que año tras año aumentan la superficie cubierta. Sin embargo y tal como ocurre en otros países de mayor desarrollo, también se ha expandido el uso de microtúneles como método para el mejoramiento de las condiciones climáticas de los cultivos especialmente hortícolas. Los microtúneles se diferencian de los invernaderos esencialmente por su tamaño y operatividad (fig. 1).

Los microtúneles cubren generalmente una hilera de cultivos o el espacio que queda definido entre dos surcos, siendo su estructura realizada en alambres y su cubierta de una lámina de polietileno cuyos espesores oscilan en los 100 micrones. En algunos microtúneles se utilizan también láminas de polietileno perforadas, que evitan las operaciones de apertura del microtúnel durante las horas de mayor temperatura e irradiación solar.

En este trabajo se propone un sistema, del cual no tenemos antecedentes, compuesto por un microtúnel con cubierta bicapa, donde la capa inferior es de polietileno y la superior de polipropileno aluminizado. Este sistema se propone basándose en los resultados de estudios anteriores realizados por el grupo. Se describe el sistema y se analizan sus características climáticas mediante la modelización matemática.

La operación del sistema es la siguiente, en invierno, al atardecer se cierran las dos cubiertas lo más herméticamente posible, de esta forma se evitan pérdidas de calor por infiltración y mediante la cubierta aluminizada se reducen abruptamente la pérdida de energía radiante, quedando del mismo orden que en los microtúneles convencionales las pérdidas por conducción a través de la cubierta. Durante la noche mientras el aire interno pierde energía hacia el exterior, a su vez el suelo interior al microtúnel, que se encuentra a mayor temperatura, aporta energía calórica al aire interior.

Al amanecer y como método práctico entre los 15 y 45 minutos posteriores a la salida del sol se remueve la cubierta superior (aluminizada) para permitir el ingreso de la radiación solar a los cultivos. Luego según las temperaturas del ambiente exterior y la radiación solar se procede a la apertura de la cubierta inferior (transparente), la que se cerrará generalmente antes del atardecer. Al atardecer, unos 15 minutos antes de la puesta del sol es conveniente cerrar ambas cubiertas y así se repite el ciclo nuevamente.

MODELO MATEMATICO

La modelización matemática del sistema está basada en los estudios realizados oportunamente por Levit and Gaspar, 1988, que fue aplicado a los invernaderos y según los criterios de Meijer, 1980; Mermier and Baille, 1988; Nijskens, et al, 1984 y Nijskens, et al, 1985.

En este modelo se considera al sistema compuesto por 4 capas: suelo, aire interior, plantas y cubierta (fig. 2) y los flujos de calor y materia son unidimensionales. La modelización matemática del sistema consiste en establecer una serie de ecuaciones matemáticas que representan los procesos de transferencia de calor y materia más representativos de la realidad, y que mediante un programa de computación son resueltos numéricamente.

Las ecuaciones que representan el balance de calor y materia para cada estrato del sistema de 4 capas son las mismas que las utilizadas por Levit and Gaspar, 1988, excepto que en el sistema de ecuaciones correspondientes a la cubierta (que se describen más abajo) los parámetros de flujo de radiación en onda corta (S) y en onda larga (L) son evaluados diferentemente según si la cubierta es una sola (transparente) o son 2 (transparente + aluminizada). Los símbolos se presentan al final del estudio.

TEMPERATURA DE LA CUBIERTA

Los flujos de energía a través de la cubierta son:

$$q = hf(T_e - T_{oc}) + (S_o - S_e) + (L_{oc} - L_{ec}) \dots\dots\dots(1)$$

$$q = hs(T_{ic} - T_a) + (S_d - S_u) + (L_{dc} - L_{uc}) - \lambda \cdot \rho \cdot (w_1 - w_{sc}) / r_w \dots\dots\dots(2)$$

el calor transmitido por conducción a través de la cubierta es:

$$q = k_c(T_{oc} - T_{ic}) / \delta_c \dots\dots\dots(3)$$

El modelo utilizado y que ya fue descrito en un trabajo anterior, considera la acumulación de calor en el suelo y las plantas y prevee la posibilidad de incorporar y evaluar el uso de calefacción adicional.

METODO DE SOLUCION

Para la resolución del sistema de ecuaciones que queda planteado se utilizan condiciones primarias tales como: radiación solar, velocidad del aire exterior y temperatura y humedad del aire exterior y los parámetros del sistema como ser: propiedades térmicas y ópticas del suelo, plantas y cubiertas, valores de infiltración. Estas condiciones

primarias y parámetros son evaluados en cada paso del sistema.

Para analizar y establecer las temperaturas del suelo se utilizó el método de Crank-Nicholson. Aunque los parámetros correspondientes a la cubierta se presentan como un juego único, en realidad en los períodos en que la cubierta es doble (transparente + aluminizada) se han utilizado parámetros equivalentes a la acción conjunta de ambas.

Para el cálculo de la resistencia estomática de las hojas que afecta directamente la transpiración de la hoja se utilizó el concepto de umbral que definieron Avissar et al., 1985. Para el cálculo de los valores de infiltración y ventilación se adoptó los métodos dados por ASHRAE, 1981 y por Bottcher et al., 1986. En cuanto a los coeficientes convectivos entre plantas y aire se utilizaron los descriptos por Parkhurst et al, 1968 y de Davies and Buttamor, 1969. Los coeficientes restantes fueron adoptados según Kindelan, 1980.

SIMULACION

A los fines de poder analizar numéricamente el sistema en estudio y poder cotejar el desempeño del sistema propuesto (microtúnel bicapa) versus el convencional de una sola cubierta se realizó la simulación mediante un programa especialmente diseñado para este propósito. Se necesitó realizar una simulación de 6 días para considerar que los sistemas habían entrado en régimen y a partir de allí se utilizaron datos meteorológicos externos reales como iniciación de cada corrida.

Ambos microtúneles evaluados tenían la misma dimensión: longitud: 5 m, ancho: 1,10 m, sección: semicircular, altura: 0,60 m; el material básico de ambas cubiertas era polietileno UV de 100 micrones y el bicapa tenía una cubierta adicional de 60 micrones de polipropileno aluminizado. La disposición de los mismos fue este - oeste.

En los días simulados, un total de 7, se ingresó los datos correspondientes de los horarios de apertura y cierre de la cubierta transparente, que en ambos sistemas fueron los mismos y que son coincidentes con los efectuados en la práctica en un ensayo experimental que se describe en otro trabajo "Microtúneles hortícolas bicapa con polipropileno aluminizado. Parte II: Ensayos" y que los mismos autores presentan en este mismo evento. Durante la simulación el sistema servía de abrigo climático a un cultivo de lechuga de hoja, cuya altura promedio registraba en esos días 14 cm.

RESULTADOS

En la figura 3 se presentan los resultados de la temperatura del aire interior bajo el sistema de microtúnel

bicapa obtenidos durante un día representativo del invierno en la zona de Rosario. Se adjunta la temperatura del aire exterior y la radiación solar exterior. Los resultados obtenidos de la simulación muestran que para una temperatura de aire exterior mínima de -1.9 C , dentro del microtúnel bicapa la mínima que se presenta es de 2 C , lo que representa un salto térmico de 3.9 C . En general se observa que la temperatura interior superó a la exterior, excepto en el período indicado como "ventilación" en la figura que corresponde a cuando estuvieron abiertas las 2 cubiertas.

En la figura 4 se presentan los resultados comparativos de la simulación del microtúnel convencional respecto al microtúnel bicapa, utilizando como datos los correspondientes al mismo día. Los resultados muestran que mientras las temperaturas del aire interior al microtúnel bicapa son mayores que la del aire exterior, el aire interior al microtúnel convencional presenta temperaturas más bajas que la del aire exterior debido al conocido efecto de inversión térmica, registrándose una diferencia de temperatura entre ambos sistemas (convencional y bicapa) de hasta 7.9 C . Mientras que en las horas diurnas las temperaturas son similares por estar los 2 en similares condiciones.

CONCLUSIONES

De los resultados de la simulación se desprende que el sistema de bicapa con polipropileno aluminizado presenta destacables ventajas térmicas respecto al convencional, que incluso durante las noches despejadas presenta fenómenos de inversión térmica.

LISTA DE SIMBOLOS

hf	coeficiente de transf. de calor de la cubierta al aire ext.
hs	coeficiente de transf. de calor de la cubierta al aire interior
kc	conductividad térmica de la cubierta
Ldc	radiación térmica descendente desde la cubierta
Lec	radiación térmica ascendente desde la cubierta
Loc	radiación térmica descendente sobre la cubierta
Luc	radiación térmica ascendente hacia la cubierta
q	flujo de calor por unidad área de cubierta y por unidad tiempo
rw	resistencia aerodinámica de la cubierta
Sd	radiación solar descendente desde la cubierta
Se	radiación solar ascendente desde la cubierta
So	radiación solar descendente hacia la cubierta
Su	radiación solar ascendente hacia la cubierta
Ta	temperatura aire
Te	temperatura externa
Tic	temperatura interior de la cubierta
Toc	temperatura exterior de la cubierta

δ_c espesor de la cubierta
 λ calor latente de vaporización del agua
 ρ densidad del aire
 w humedad específica del aire interior
 w_{sc} humedad específica de saturación a la temperatura: T_c

REFERENCIAS

ASHRAE, 1978. ASHRAE handbook, 1978 Applications, Chap. 22.

Avissar, R. and Mahrer, Y., 1985. Verification study of a numerical greenhouse microclimate model. Trans. ASAE, 25: 1711-1720.

Bottcher, R. W., Willits, D. H. and Baughman, G. R., 1986. Experimental analysis of wind ventilation of poultry buildings. Trans. ASAE, 29:571-578.

Davies, J. A. and Buttior, P., 1969. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, southern Ontario. Agric. Meteorol., 6:373-386.

Kindelan, M., 1980. Dynamic modeling of greenhouse environment. Trans. ASAE, 23:1232-1239.

Levit, H. J., Gaspar, R., 1988. Energy budget for greenhouses in humid-temperate climate. Agric. and Forest Meteorol., 42: 241-254.

Meijer, J., 1980. reduction of heat losses from greenhouses by means of internal blinds with low thermal emissivity. J. agric. Engng. Res., 25: 381-390.

Mermier, M., Baille, A., 1988. The optical properties of plastics materials for greenhouse and screens. Plasticulture, 77: 11-24.

Nijskens, J., Deltour, J., Nisen, A., Coutisse, S., 1984. Propertes radiometriques et thermiques des materiaux plastiques. Acta Horticulturae, 154: 33-41.

Nijskens, J., Deltour, J., Coutisse, S., Nisen, A., 1985. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. Agric. and Forest Meteorol., 35: 229-242.

Parkhurst, D., Duncan, P., Gates, D. and Kreith, F., 1968. Wind-tunnel modeling of convection of heat between air and broad leaves of plants. Agric. Meteorol., 5:33-47.

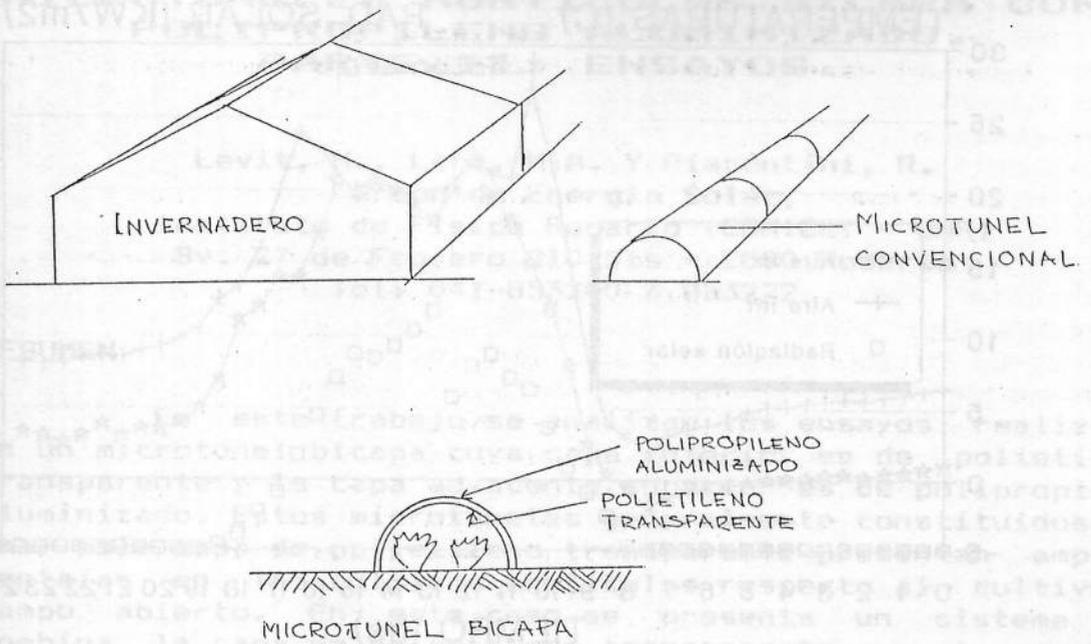


FIGURA 1: Esquema comparativo entre invernaderos, microtúnel convencional y bicapa

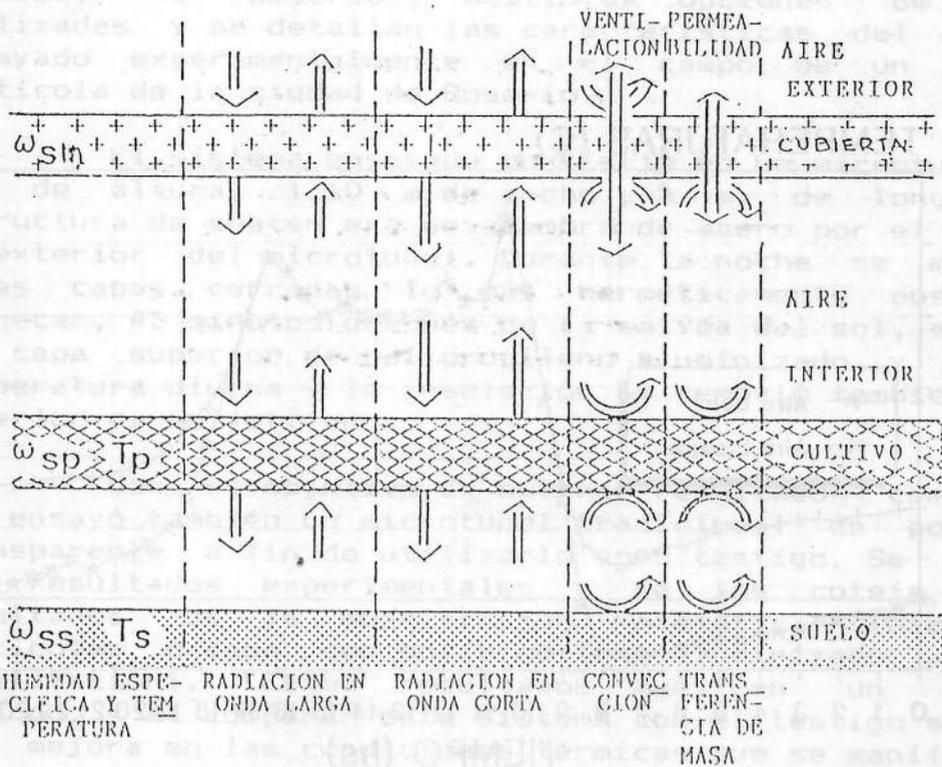


FIGURA 2: Esquema de los flujos de calor y materia en los microtúneles.

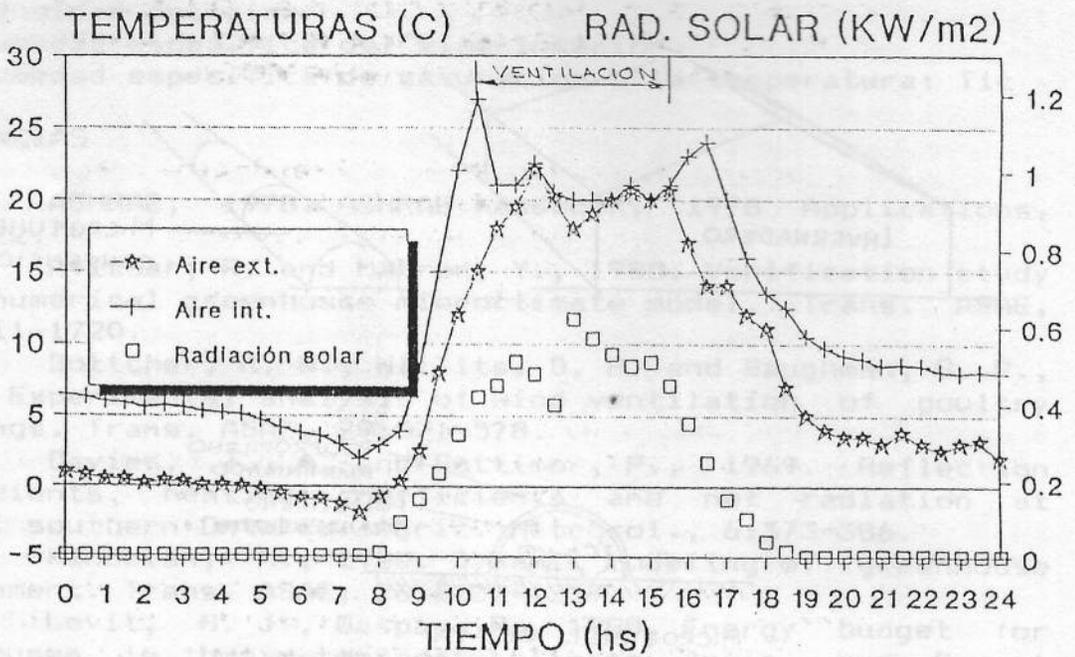


FIGURA 3: Temp. interior simulada y datos de temp. ext. y rad. solar usados.

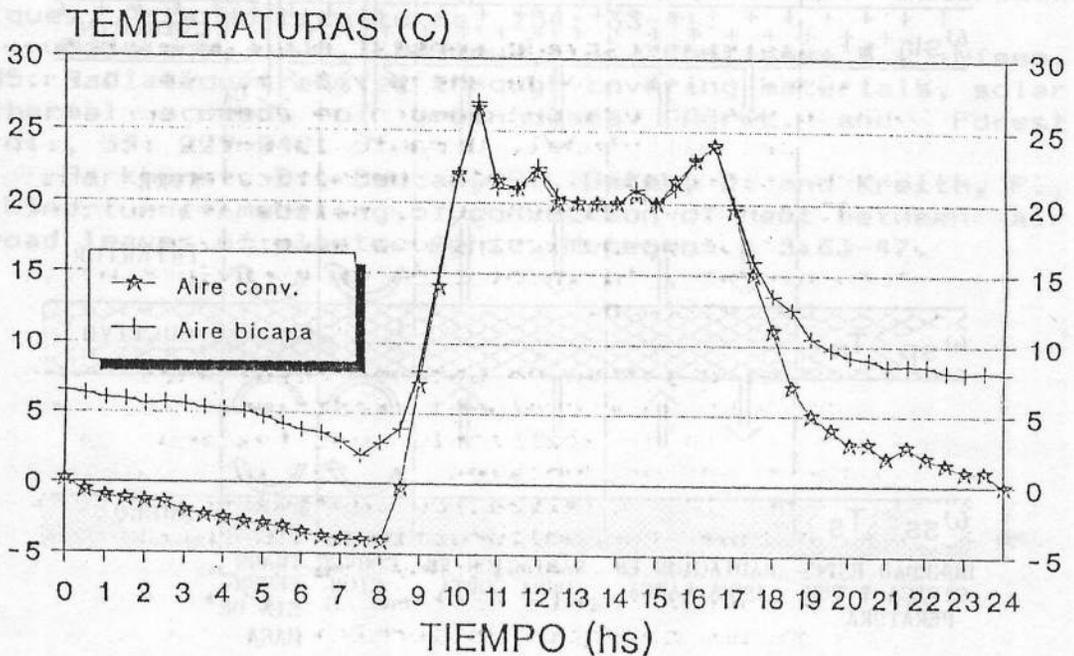


FIGURA 4: Temps. del aire simuladas en microtúnel convencional y bicapa.