

## BOLSAS PLÁSTICAS COLECTORAS PARA CÁMARA DE INJERTACIÓN: ENSAYOS PRELIMINARES

V. Luque, A. Iriarte<sup>2</sup> y G. Lesino<sup>1,2</sup>

INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa  
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina. vluque@plab.unca.edu.ar

### RESUMEN

La necesidad de proporcionar material vegetativo de alta calidad y posibilitar el avance hacia niveles de competitividad compatibles con los tiempos actuales, ha conducido al estudio de la producción forzada de plantines de nogal utilizando la técnica de microinjertación. Esta técnica requiere niveles de temperatura e iluminación adecuados. En el presente trabajo se propone la utilización de bolsas plásticas transparentes y negras ubicadas en el interior de un invernadero de vidrio. Se presentan los resultados experimentales del comportamiento de las bolsas, se analiza un modelo teórico y su ajuste experimental. Las eficiencias instantáneas promedio fueron de 17% y 24% para las bolsas inclinadas, transparentes y negras respectivamente, lo que demuestra la factibilidad de su empleo como colectores e intercambiadores de calor.

### INTRODUCCIÓN

Las características agroclimáticas de la provincia de Catamarca, y en gran medida de la zona pre - cordillerana del país, tienen condiciones ideales para el cultivo de una gran cantidad de especies frutales, siendo el nogal el de mayor importancia económica en la provincia. La Argentina, con 15.000 ha cultivadas, produce anualmente alrededor de 4.400 tn de nuez. El consumo interno es de 0,180 kg/hab/año e importando para consumo interno de Chile, EEUU, China e India., En la provincia de Catamarca, se producen anualmente aproximadamente 2.490 tn, con una superficie cultivada de 3.300 hectáreas y un sector productivo de 2000 productores (Alderete Salas, 1999).

En general las semillas no pueden ser usadas para la obtención directa de plantas de nogales debido a que las variedades que se obtienen no son estables, sino cambiantes. Al producir el embrión una nueva planta, sus frutos no serán semejantes a los de la planta madre. La solución a este problema es la injertación de plantas con material genético de probada calidad. Actualmente, la técnica de injertación utilizada en los viveros no está totalmente optimizada. En un vivero tradicional a cielo abierto, el tiempo para obtener una planta, lista para ser llevada al campo, es de dos o más años. En el primer año se obtiene el portainjerto o patrón y a partir de allí se realiza la injertación, utilizándose diferentes técnicas (púas, parche, corona, etc.). La planta injertada se cría durante un año más. Si se quiere reducir de 24 a 10 meses el tiempo de obtención de una planta injertada es necesario acondicionar una cámara para que tenga las condiciones de temperatura, humedad e iluminación requeridas para la germinación del portainjerto y cicatrización del callo que se forma después del injerto. Una de las alternativas para lograr estas condiciones es la incorporación en el interior de la cámara de injertación del invernadero de colectores solares que no interfieran en los procesos biológicos, especialmente fotosintéticos.

Damagnez *et al.* (1975) incorporaron en la cubierta de un invernadero un sistema compuesto por dos láminas de plástico rígido o vidrio, por cuyo interior se hacía circular una solución de  $\text{CuCl}_2$ . Iriarte *et al.* (1997) estudiaron la calefacción de un invernadero con cubierta de vidrio colgando en su interior bolsas de plástico por donde circulaba agua, la que era calentada debido a la radiación solar. Saravia *et al.* (1996) presentaron un diseño de un sistema de cultivo hidropónico en un invernadero acondicionado térmicamente con aprovechamiento de energía solar y utilizaron estas bolsas colectores - intercambiadores de plástico de bajo costo para calentar una solución nutritiva hidropónica.

En el presente trabajo se propone el uso de bolsas de plástico transparentes y negras ubicadas dentro del invernadero con la misma pendiente que la cubierta superior y laterales Norte y Sur. Se analizan las condiciones experimentales de funcionamiento de bolsas plásticas transparente y negras colocadas en la parte Norte y Sur del invernadero, determinándose las eficiencias instantáneas, ecuaciones características, energías y potencias disponibles para cada tipo de bolsa y su comportamiento para un día claro.

### MATERIALES Y METODO

**Cámara de ensayo:** la caracterización de las bolsas colectoras fue realizada en un invernadero a dos aguas de 50 m<sup>2</sup> construido con un muro perimetral de mampostería de ladrillo cerámico y una estructura metálica donde se colocaron vidrios de 0,004 m de espesor. La cubierta esta formada por cabreadas de perfiles metálicos, con cerramiento de vidrio del mismo espesor. Se incluye tela metálica como protector antigraizo de los vidrios.

---

<sup>1</sup> INENCO, U.N. Salta

<sup>2</sup> Investigador del CONICET

**Bolsas de plástico colectoras:** las bolsas colectoras de 0,50 m de ancho están construidas con polietileno de baja densidad transparente de 150 micrones de espesor y negro de 200 micrones. Están soldadas transversalmente formando canales de circulación del agua. De esta manera el agua que ingresa por la parte superior, cae por gravedad y circula dentro de la misma por los canales construidos haciendo un recorrido en forma de zig - zag. Se colocaron en el interior del invernadero paralelas a la cubierta de vidrio (inclinadas 35°) y a los laterales (verticales), a una distancia de 0,20 m. La longitud de las bolsas inclinadas es de 3,20 m mientras que la de las verticales es 1,20 m. El agua ingresa por la parte superior de las bolsas inclinadas mediante micro aspersores compensados y es recogida a la salida de las bolsas verticales por medio de caños de PVC de 0,10 m de diámetro, almacenándola en un tanque colocado dentro del invernadero. Hacia el Norte se ubicaron las bolsas transparentes para no interferir en los procesos fotosintéticos de las plantas y las negras fueron colocadas hacia el sur para interceptar la radiación solar, que de otra manera se perdería a través de la pared vidriada correspondiente, figura 1,2 y 3.

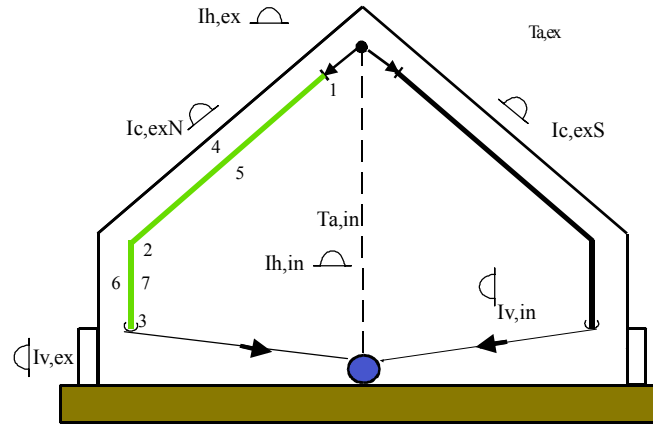


Figura 1. Esquema del invernadero de vidrio con las bolsas plásticas y la ubicación de los sensores



Figura 2. Foto del colector transparente (Norte)



Figura 3. Foto del colector negro (Sur)

**Balance térmico:** la ganancia de calor en el colector es:

$$q_u = G C_{p,w} (T_{w,s} - T_{w,e}) \quad (1)$$

y la eficiencia instantánea de colección:

$$\eta_i = \frac{G C_{p,w} (T_{w,s} - T_{w,e})}{A_c I} \quad (2)$$

Por otro lado, la energía útil por unidad de tiempo ganada por un colector en operación, bajo condiciones estacionarias, puede escribirse como la diferencia entre la energía absorbida y la perdida en el lado anterior ( $U_a$ ) y posterior ( $U_p$ ) del mismo:

$$q_u = A_c I(\tau\alpha) - U_a A_c (\bar{T}_w - T_{a,a}) - U_p A_c (\bar{T}_w - T_{a,p}) \quad (3)$$

La eficiencia instantánea se define entonces como:

$$\eta_i = \frac{q_u}{A_c I} = (\tau\alpha) - U_a \frac{(\bar{T}_w - T_{a,a})}{I} - U_p \frac{(\bar{T}_w - T_{a,p})}{I} \quad (4)$$

En esta ecuación el producto transmitancia - absorbancia ( $\tau\alpha$ ) es un número, que tiene en cuenta la proporción de radiación directa, difusa y reflejada por el suelo que incide sobre el colector. Este producto debe ser determinado bajo las condiciones de ensayo, que generalmente se realizan al medio día solar cuando la mayor parte de la radiación incidente es directa. El término que corresponde a la pérdida, está referido a la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente interior del invernadero en dos posiciones, entre la bolsa y el vidrio ( $T_{a,a}$ ) y en el aire de la parte posterior de la bolsa ( $T_{a,p}$ ). Dependiendo del signo de esta diferencia, estos términos pueden representar ganancias o pérdidas debido al intercambio convectivo entre el aire interior al invernadero y el agua que circula por las bolsas.

**Sistema de medición:** para la medición de la temperatura del agua y del aire se utilizaron termopares de cobre - constantán calibrados en un baño termostático. Los datos de radiación se tomaron utilizando radiómetros Kipp & Zonen, Black & White y LI-COR 200SA. El monitoreo se realizó con un sistema de adquisición de datos Delta Logger de 30 canales. En la figura 1 se muestran los puntos donde fueron ubicados los sensores de temperatura para los colectores del sector Norte y la ubicación de los piranómetros. En las bolsas negras, sector Sur del invernadero, se usó la misma distribución de sensores de temperatura que el transparente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del comportamiento de las bolsas colectoras se realizó durante las horas de sol. Con los datos experimentales se realizó el ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación (4) obteniéndose las siguientes ecuaciones:

Colector inclinado Norte:

$$\eta = 0,13 - 2,44 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,4})}{I_{cN,ex}} - 3,07 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,5})}{I_{cN,ex}} \quad (5)$$

Colector vertical Norte:

$$\eta = 0,034 - 0,58 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,6})}{I_{v,ex}} - 0,73 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,7})}{I_{v,ex}} \quad (6)$$

Colector inclinado Sur:

$$\eta = 0,173 - 1,40 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,4})}{I_{cS,ex}} - 1,20 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,5})}{I_{cS,ex}} \quad (7)$$

Colector vertical Sur:

$$\eta = 0,10 - 3,86 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,6})}{I_{v,ex}} - 4,87 \frac{(\bar{T}_w - T_{a,7})}{I_{v,ex}} \quad (8)$$

Para cada ecuación característica se puede construir un ábaco que permite calcular la eficiencia instantánea según la variación de la temperatura del ambiente interior al invernadero.

En la figura 4 se muestra la eficiencia instantánea para el colector inclinado Norte en función de  $Pa = (T_{a,4} - \bar{T}_w) / I_{cN,ex}$ ,

para diferentes valor de  $Pp = (\bar{T}_w - T_{a,5}) / I_{cN,ex}$ . Se observa que a medida que el parámetro Pp aumenta, la eficiencia instantánea de la bolsa aumenta. Si se analiza la variación de la eficiencia instantánea para un incremento de 0,005 en el parámetro Pp se tiene para el colector inclinado Norte un aumento porcentual del 9,5% mientras que para el colector inclinado Sur este incremento fue del 3%. Esto indica que la bolsa transparente recibe un mayor aporte de calor desde el ambiente que la bolsa negra.

La variación de la temperatura de entrada y salida del agua a la salida a los colectores en función del tiempo se muestra en la figura 5, donde IN, VN, IS y VS son los subíndices que corresponden a la bolsa inclinada Norte, vertical Norte, inclinada Sur y vertical Sur, respectivamente. Para el inclinado Norte se tiene un valor máximo de  $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  y para el inclinado Sur un  $\Delta T = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo en algunos periodos de tiempo, se advierte que la temperatura de salida del agua de los colectores verticales, transparente y negro, es menor que la temperatura de entrada a los mismos, lo cual indica que para esta ubicación las pérdidas de calor hacia el invernadero son importantes.

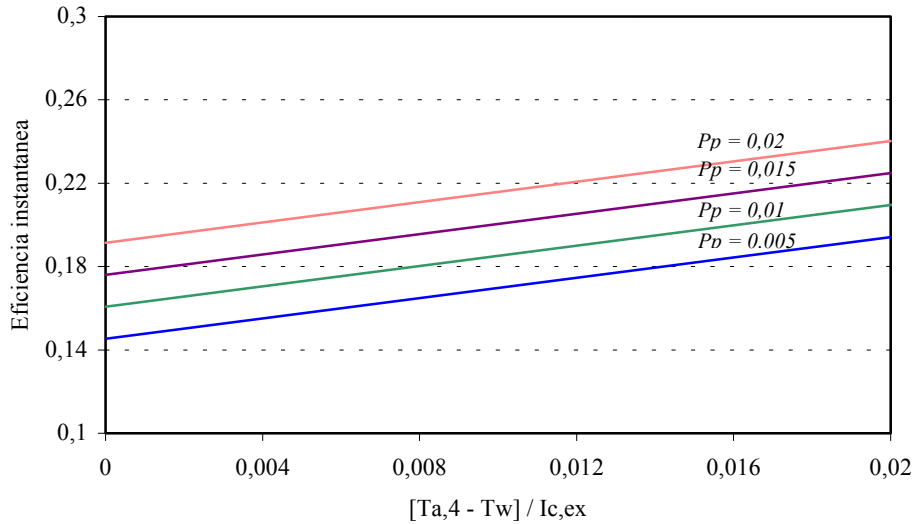


Figura 4. Eficiencia instantánea de la bolsa inclinada Norte para distintos valores de  $P_p$  y  $P_a$

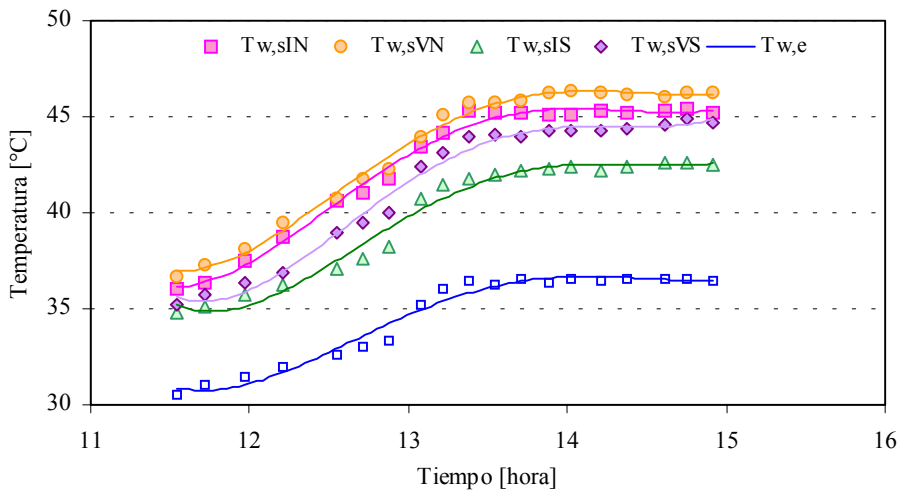


Figura 5. Temperaturas del agua a la entrada y salida a los colectores en sus diferentes configuraciones

En la tabla 1 se detallan la eficiencia promedio, el flujo de calor máximo y promedio y la energía máxima y promedio obtenida por cada bolsa colectora.

	$\bar{\eta}$ [%]	$q_{\max}$ [W]	$\bar{q}$ [W]	$E_{\max}$ [kJ]	$\bar{E}$ [kJ]
Colector inclinado norte	16,98	281,1	198,97	196	122
Colector vertical norte	5,85	24,47	17,24	17	10,3
Colector inclinado sur	23,86	151,31	112,67	101	69
Colector vertical sur	12,15	65,43	44,28	46	27

Tabla 1. Parámetros característicos de las bolsas colectoras

En la figura 6 se muestra la radiación incidente sobre los planos: horizontal ( $I_{h,ex}$ ), inclinado Norte y Sur ( $I_{cN,ex}$ ;  $I_{cS,ex}$ ) y vertical exterior ( $I_{v,ex}$ ); y sobre el plano vertical en el interior del invernadero ( $I_{v,in}$ ), en función del tiempo.

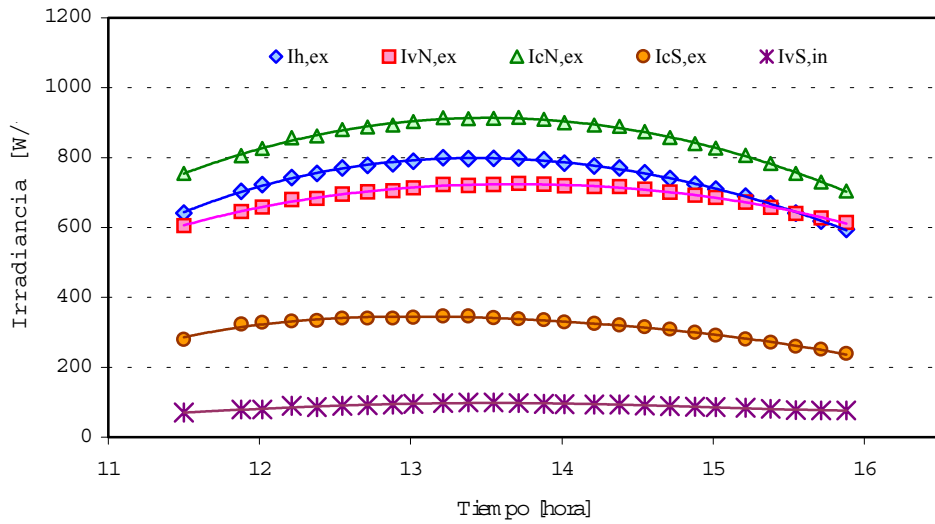


Figura 6. Radiación solar incidente al invernadero en los distintos planos

La variación de la temperatura en los puntos de medición (figura 1) del colector Norte y Sur (inclinado y vertical) para diferentes horas del día, se muestra en la figura 7 y 8.

En la figura 7 se puede apreciar con mayor claridad las dificultades que tienen los colectores verticales para aumentar la temperatura del agua a partir de ciertas horas del día.

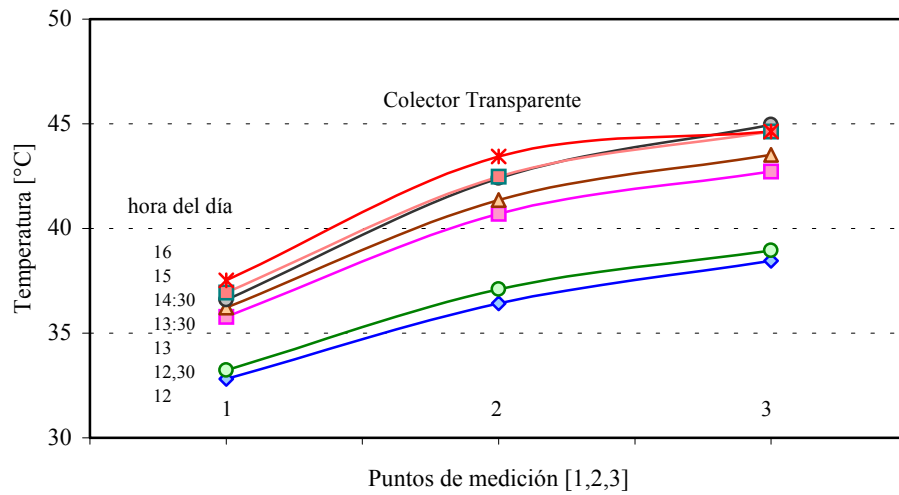


Figura 7. Variación de la temperatura del agua a lo largo de las bolsas transparentes

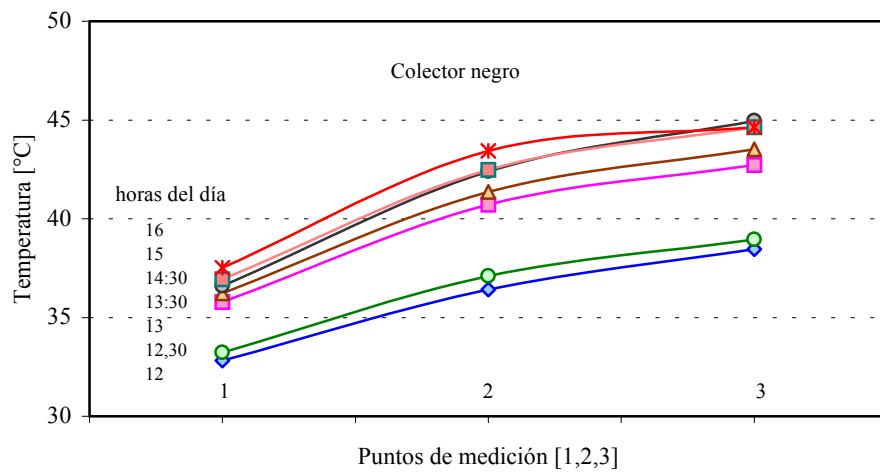


Figura 8. Variación de la temperatura del agua a lo largo de las bolsas transparentes

Así, por ejemplo, la temperatura de salida de la bolsa colectora inclinada Norte (punto 2) a la 16 hora local disminuye hasta valores por debajo de los obtenidos a la 13:30 hora local, aumentando en el vertical una pequeña fracción. Sin embargo, en el caso del colector Sur (figura 8), la disminución de la temperatura es de menor intensidad, ocurriendo la inversión de la temperatura a la 14:30 hora local.

## CONCLUSIONES

El comportamiento térmico de las bolsas colectoras plásticas inclinadas, demuestra la factibilidad de colección de energía solar y absorción de calor del ambiente interior al invernadero, lo que confirma su doble función de colector e intercambiador. Los niveles de temperatura son adecuados para la calefacción de las camas de germinación y fortalecer la formación de callos después de producido la microinjertación.

Los colectores verticales aportan energía al agua al inicio del día, pero a partir del medio día solar (14:30 hora local) pierden una porción importante de calor, lo aconsejaría analizar con más detalle su inclusión.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el montaje de los colectores inclinados en ambos sectores para mantener la filosofía del bajo costo de este tipo de colectores

## NOMENCLATURA

Ac: área de colección [ $\text{m}^2$ ]

$C_{p,w}$ : calor específico de agua a presión cte. [ $\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ]

G: flujo másico de agua [ $\text{kg s}^{-1}$ ]

I: irradiación incidente sobre el plano de colección [ $\text{W m}^{-2}$ ]

$U_a$ : coeficiente global de transferencia de calor entre el colector y el aire circundante sobre el colector [ $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ]

$U_p$ : coeficiente global de transferencia de calor entre el colector y el aire circundante por debajo del colector [ $\text{W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ]

$T_{a,a}$ : temperatura ambiente interior del invernadero anterior a la bolsa, colector inclinado [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{a,p}$ : temperatura ambiente interior del invernadero posterior a la bolsa, colector vertical [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{w,s}$ : la temperatura de salida del agua [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{w,e}$ : la temperatura de entrada del agua [ $^\circ\text{C}$ ]

$(\tau\alpha)$ : producto transmitancia - absorbancia

$\overline{T}_w$ : Temperatura promedio del agua entre entrada y salida del colector

## REFERENCIAS

- Alderete Salas S. (1999). Cadena Agroalimentaria de la Nuez para la Provincia de Catamarca. Informe Técnico, EEA-Catamarca.
- Damagnez J., Chiapale J. P., Denis, P. y Jourdan P. (1975). Solar greenhouse: New Process for heating cooling and water economy under greenhouse, ISES Conf., Los Angeles, California.
- Iriarte A., Bistoni S. y Hoyos D. (1997). Calefacción de invernaderos con sistema mixto sol - gas. Revista Energías renovables y medio ambiente, Vol. N° 3, pág. 25 - 31.
- Saravia L., Quiroga M., Echazú R. y Cadena C. (1996). Acondicionamiento por vía solar de un sistema de cultivo hidropónico bajo invernadero: diseño y construcción. Actas 18va. Reunión de ASADES, pág. 01.29 - 01.32, Tomo I.

**ABSTRACT** - In our region the walnut trees' production by micro-grafting technique is being used because of the necessity of supplying high quality plant material and reaching competitive levels according with the present time. The use of transparent and black plastic collectors inside of a glass greenhouse is proposed to achieve temperature and illumination levels indispensable to this technique. The present work presents experimental results of the behaviour of the plastic collecting bags placed vertically and following the slope of the glass greenhouse roof. A theoretical model is analysed and adjusted with experimental data. The average instantaneous efficiencies were 17% and 24% for the tilted bags, transparent and black respectively, showing the feasibility for their use as collectors and heat exchangers.