

ACONDICIONAMIENTO HÍBRIDO DE TÚNELES PARA INJERTACIÓN DE NOGALES

A. Iriarte³, G. Lesino^{1,3}, V. García³ y C. Matías²
INENCO, Facultad de Ciencias Agrarias - U.N.Catamarca
M. Quiroga 93. 4700 - Catamarca. iriarte@plab.unca.edu.ar

RESUMEN - La producción intensiva de plantas frutales en cámara de vegetación con ambiente controlado está acotada a los meses en que las plantas tienen actividad hormonal. Para disminuir el periodo de amortización del edificio y su equipamiento es necesario realizar otros procesos de producción que permitan su utilización durante todo el año. En el presente trabajo se analiza la posibilidad de obtener otras condiciones dentro de la cámara con el propósito de fortalecer la formación de callos en plantas de nogal recién injertadas. Se muestran las condiciones ambientales obtenidas y los resultados de la simulación numérica del túnel donde se realizaron los injertos. Dichas condiciones demuestran la versatilidad del diseño y la posibilidad de uso de la cámara para otro tipo de actividad productiva.

Palabras clave: Propagación de plantas, sistemas híbridos, injerto

INTRODUCCIÓN

Por la incorporación de nuevas áreas frutícolas, principalmente olivereras y nogaleras en las provincias de Catamarca y La Rioja, la actividad viverística de la región se ve obligada a modernizarse para satisfacer una demanda creciente de plantas de diferentes especies (Iriarte *et al.*, 1999). Para ello es preciso disponer de un sustrato que sea lo suficientemente firme y denso como para mantener las estacas o las semillas en su sitio, que retenga la humedad necesaria para evitar el regado frecuente y lo suficientemente poroso de modo que escurra el exceso de agua y permita una aireación apropiada. Además se requiere recintos adecuados que permitan la actuación de los factores intrínsecos (principalmente genéticos) y extrínsecos (luz, temperatura, humedad) sobre el material a propagar.

La propagación de plantas hortícolas, frutícolas y ornamentales es una ocupación fundamental de la actividad agrícola. Las instalaciones requeridas para propagar muchas especies de plantas por medio de semillas, estacas o injertos, comprenden dos unidades básicas: una construcción con control de temperatura y abundante iluminación, donde se logre enraizar estacas o poner a germinar semillas y una estructura para que las plantas jóvenes se endurezcan preparándose para su trasplante a la invernadero (Hartman y Kester, 1972; Bistoni *et al.*, 1999).

La germinación es un proceso fisiológico que se ve afectado por la humedad, la temperatura y la aireación del ambiente. Estos factores condicionan el éxito o fracaso de una buena emergencia de plantas. En la propagación asexual o agámica los órganos vegetativos tienen capacidad de regeneración, pudiéndose obtener una planta nueva incluso a partir de una célula viva pues la misma tiene toda la información genética necesaria para regenerar el organismo completo. Para el éxito de la producción los requisitos ambientales básicos son: temperaturas comprendidas entre 18 °C y 27 °C, humedad relativa superior al 70 % para evitar pérdidas de humedad por las hojas, niveles de iluminación mayores que 150 lux y longitud del fotoperíodo comprendido entre 12 a 18 horas, según las especies y variedades.

Por otra parte, la necesidad de perpetuar clones que no se pueden reproducir de manera conveniente por estacas, acodado, división u otros métodos asexuales, o aprovechar los beneficios de algunos patrones, obligan a realizar injertos para su multiplicación. Esta técnica consiste en juntar partes de plantas de manera que se unan y continúen su crecimiento como una sola. Una etapa crítica al aplicar este método es la formación del callo de cicatrización donde se precisa de temperaturas comprendidas entre 12,8 °C y 32 °C según especie y variedad, para favorecer una actividad celular elevada conducente a una rápida cicatrización del injerto.

La tendencia de la moderna fruticultura al empleo de altas densidades de plantación, por razones económicas, obliga a diseñar instalaciones donde las condiciones ambientales puedan controlarse para permitir que la multiplicación vegetativa o asexual y la reproducción sexual o por semillas pueda realizarse permanentemente. Esta alternativa implica disponer de una cámara o recinto con cierta facilidad para modificar las condiciones ambientales y versatilidad para realizar simultáneamente distintos métodos para la producción de plantas.

Parcialmente financiado por: CIUNSA, ANPCyT, INTA

¹ INENCO - U.N. Salta

² INTA - E.E.A., Catamarca

³ Investigador del CONICET

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento de una cámara de vegetación que originalmente fue diseñada para la producción de plántulas de olivo, como sistema para fortalecer los callos de injertos de nogal. Se detalla sus características y las condiciones ambientales en la nueva situación. Se muestra los resultados de la simulación numérica de un túnel donde se realizan los injertos.

DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES

Consiste en un tinglado a dos aguas de 25 m de largo, 20 m de ancho, 2,60 m de altura lateral y 4,60 m de altura máxima. Los cerramientos laterales y frontales son paredes construidas con placas de cemento de espesor de 0,03 m de espesor con una estructura de hierro interior, separadas 0,1 m entre ellas. Entre las placas se ha colocado poliestireno expandido rígido de 0,03 m de espesor que está en contacto con la placa exterior, rellenándose el espacio libre con tierra seca de la zona.

Para la construcción del techo se ha utilizado chapas plásticas de poliéster semitranslúcidas y verdes que han sido colocadas en forma alternada. La casa de propagación se completa con:

- **Sistema de refrescamiento evaporativo.** En la parte frontal Este se encuentra ubicado un panel de refrescamiento evaporativo (Cooling System o Hydrocooling, HC). El panel está constituido por una pared de viruta de paja de 20 m de ancho, 1,20 m de alto, y 0,10 m de espesor. El agua que moja la paja es impulsada por una bomba de 746 W y se distribuye por dos hileras de nebulizadores colocados en la parte superior y media del panel. El agua sobrante es recolectada por una canaleta que la conduce a un depósito para su recirculación. El movimiento del aire a través del panel húmedo se realiza mediante 5 extractores de 1,5 kW (2 HP) cada uno, que se encuentran ubicados en la pared opuesta. La cantidad de extractores que funcionan depende de la época del año.
- **Cubierta de baja transparencia.** En la parte exterior de la casa se han instalado aspersores para mojar la superficie del techo y de esta forma disminuir su temperatura. Por encima de la cubierta, se ha colocado una malla aluminizada de media sombra (60 %), corrediza, separada de la misma 0,3 m para no interferir con la circulación y el refrescamiento evaporativo. La diferencia de coloración de las chapas y la instalación de la media sombra permiten controlar el ingreso de radiación solar al interior de la cámara.
- **Túneles.** En el interior de la cámara se ha construido siete túneles. Dentro de ellos se ha colocado dos mesadas separadas por un pasillo central de 0,5 m de ancho, que posibilita la libre circulación de personas. Son de plástico transparente de 2,6 m de alto y 2,5 m de ancho y 18 m de largo. En el extremo Este tienen una abertura de 2,5 m de alto por 0,5 m de ancho coincidente con el pasillo central. En el extremo opuesto, sobre el pasillo, tienen una abertura en la parte superior de 0,5 m de ancho y 0,2 m de alto por donde sale el aire húmedo que circula por el mismo. Entre el techo y los túneles se ha instalado una malla aluminizada de media sombra, corrediza, similar a la que se ha colocado en la cubierta, que es utilizada para regular radiación y, por lo tanto, la temperatura en el interior de los túneles.
- **Camas calientes.** Son estructuras tipo cajón construidas de hierro, de 0,2 m de alto, 1 m de ancho, y 3 m de largo, con patas que la elevan 0,80 m desde el piso. En cada túnel se ha colocado 6 módulos lo que hace un largo total de mesada de 18 m. Cada mesada ha sido revestida interiormente con una malla media sombra (90 %), sobre la que se ha colocado una capa de perlita (material inerte volcánico expandido) de 0,1 m de espesor que llega hasta el borde de la mesada, un sistema de tubos de polietileno de 0,0127 m (1/2") de diámetro separados 0,05 m. El agua caliente que circula por la tubería proviene de una caldera de 25 kW y es impulsada por una electrobomba de 746 W (1HP). Su temperatura puede ser regulada de acuerdo a las necesidades térmicas del sustrato.
- **Sistema de nebulización o Mist.** Este sistema permite crear artificialmente niebla en el ambiente, manteniendo una humedad relativa alta, de manera de disminuir la evapotranspiración en las hojas de los esquejes que están enraizando o por la especie que esté propagándose mediante injerto. Por cada túnel se ha dispuesto de dos líneas con un total de 38 nebulizadores, una sobre cada mesada. Su funcionamiento se regula de acuerdo a las necesidades higrotérmicas.
- **Sistema de medición y control.** La medición de las principales variables de interés se realizó con una computadora PC/AT. Se usaron los siguientes sensores: puntas capacitivas Vaisala para la medición de humedad relativa; luxímetro Digital Illuminance Meter Model TES / 1330 para la medición del nivel de iluminación; solarímetro para la medición de la radiación solar interior y exterior asociado con un módulo NUDAM - 6017; termopares de cobre - constantán conectados con módulos NUDAM - 6018 para la medición de la temperatura ambiente exterior, interior de la cámara e interior del túnel elegido para la injertación. Los datos de temperatura y humedad fueron contrastados con mediciones realizadas en forma manual con un termómetro digital y un psicrómetro de turbina a cuerda. El control de funcionamiento de la cámara de cría (bomba, ventiladores, cama caliente, aspersores, etc.) se realiza mediante termostatos individuales programados adecuadamente de acuerdo a los requerimientos.

EVALUACION DE LA CAMARA DE INJERTACIÓN

Para realizar los ensayos de injertación de plantas de nogal se seleccionó un túnel de la casa de vegetación en cuyo interior se incluyó, en tres sectores, los sensores para las mediciones de temperatura y humedad. También se agregó un solarímetro para medición de la radiación solar que ingresa al túnel.

Análisis teórico y modelo de simulación

Para una adecuada descripción de la evolución de la temperatura y el contenido de humedad del aire a lo largo del túnel, en régimen estacionario, es necesario realizar los respectivos balances de energía y masa. Los límites físicos del volumen elegido para realizar el balance están constituidos por la parte superior de las mesadas y la carpa que forman el túnel, como se ve en la figura 1.

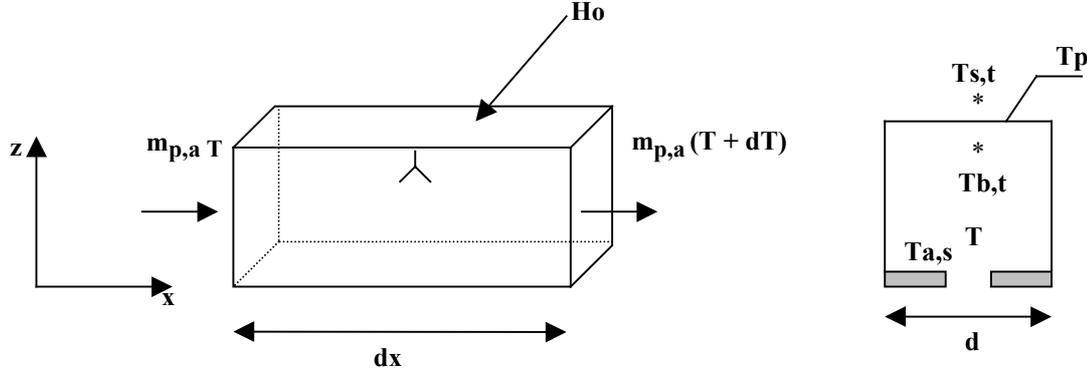


Fig. 1. Vista y corte de la parte superior del túnel de inyección

El balance de energía a lo largo del túnel teniendo en cuenta que entra un flujo de calor $C_p m_{p,a} T$ y que sale $C_p m_{p,a} (T + dT)$ en un elemento diferencial dx está dado por la ecuación (1). El significado de cada uno de los símbolos que se usan en las ecuaciones que siguen se detallan en la nomenclatura.

$$m_{p,a} (C_{p,as} + w(x) C_{p,v}) \frac{dT}{dx} + \frac{dm_{p,w}}{dx} \lambda_{fg} = d [\alpha H_i - p h_{c2} (T - T_p) + s h_{c3} (T_{a,s} - T)] \quad (1)$$

En esta ecuación se tiene en cuenta el cambio de calor sensible y latente del aire húmedo, las transferencias por convección y el ingreso de radiación solar a través del techo del túnel.

El balance de energía en el techo del túnel, despreciándose la masa del film y teniendo en cuenta la radiación absorbida por el mismo, nos permite calcular la temperatura del plástico a través de la ecuación (2). El ingreso de radiación se realiza solamente por la parte superior (techo) en razón de que los túneles dentro de la casa de vegetación están uno al lado del otro.

$$p h_{c2} (T_{a,bt} - T_p) = p h_{c1} (T_p - T_{a,st}) - (H_o - H_i) \quad (2)$$

El balance de masa considerando que hay un aporte de agua al aire por el sistema de nebulización (G_w) que están ubicados a lo largo del túnel será:

$$\frac{dm_{p,w}}{dx} = h'_m s d [P_{Vs}(T_{a,s}) - P_{Va}(x)] + G_w \quad (3)$$

donde:

$$h'_m = h_m \rho_a \frac{M_w}{M}$$

Para la estimación del coeficiente de transferencia de masa (h_m) se ha adoptado la similitud de las capas límites térmica y de concentración. Es por ello que los coeficientes de transferencia de calor y masa se han relacionado a través de la ecuación (4), válida tanto en régimen laminar como turbulento. En la mayoría de las aplicaciones se puede tomar $n=1/3$.

$$h_m = h_{c3} \frac{1}{(C_p \rho)_a Le^{1-n}} \quad (4)$$

donde:

$$Le = \frac{k}{D_v \rho C_p} = \frac{\alpha_a}{D_v}$$

Análisis experimental

De los datos experimentales obtenidos en el interior del túnel seleccionado para la realización de los ensayos de injerto, se desprende que la temperatura del pasillo, hasta la altura de mesada, tiene una variación máxima a lo largo del túnel de 1,5 °C, no observándose cambios significativos en el perfil vertical del mismo. Similar situación presenta el piso a lo largo del túnel. Sin embargo se advierten variaciones temporales en los distintos puntos. En la Fig. 2 se muestra las temperaturas promedio del piso, aire debajo de la mesada (fuera del túnel), interior (nivel de raíz) y sobre la superficie del sustrato y del aire por arriba del nivel de las mesadas, incluido el pasillo, para seis horas de funcionamiento del sistema de refrescamiento evaporativo (11:00 a 17:00 horas). Se observa que las temperaturas que tienen mayor variación son las que corresponden al aire en la superficie del sustrato y al aire en el interior del túnel. Esto se debe fundamentalmente al aporte de calor de la calefacción del sustrato y a la absorción de energía solar. A pesar de ello, los valores máximos obtenidos tienen niveles razonables, alcanzando las temperaturas del aire en la superficie del sustrato y en el aire por encima de la mesada 25 °C y de 22 °C respectivamente. Estos valores están dentro de los límites establecidos para este tipo de producción.

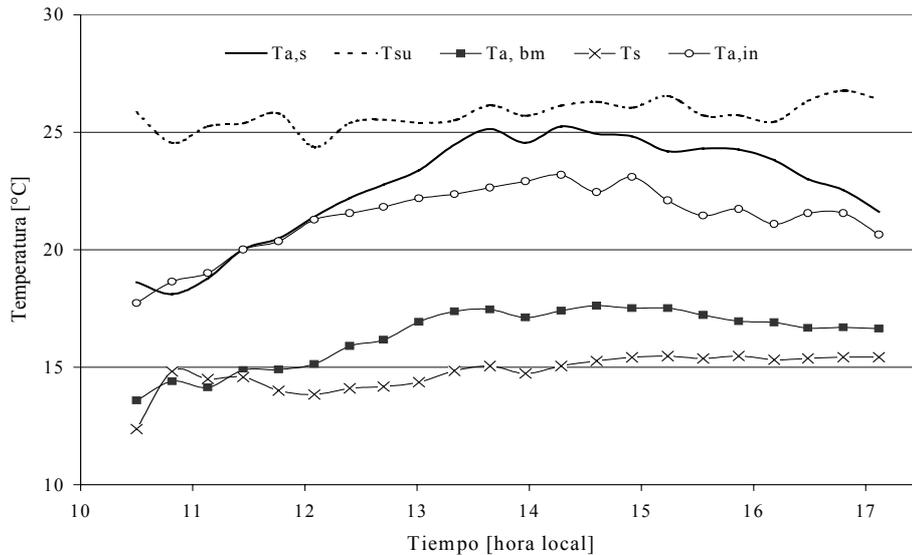


Fig. 2. Variación de la temperatura en diferentes lugares del túnel

En la figura 3, se puede observar la variación de la temperatura a lo largo del túnel para distintas horas. Después de las 12:30 horas, cuando el túnel entra en régimen, se advierte que en las variaciones del perfil de la temperatura del aire tiene mayor incidencia la hora del día que la distribución espacial.

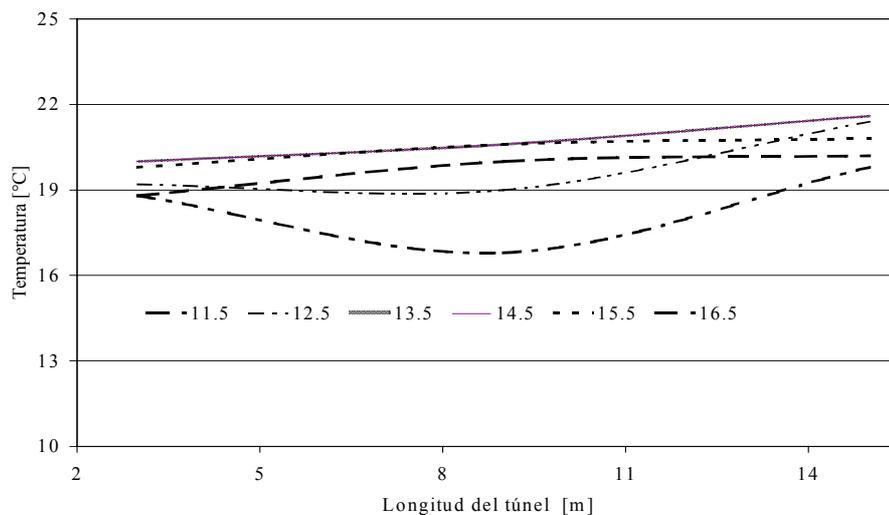


Fig. 3. Temperaturas del aire en el interior del túnel para diferentes horas

En la tabla 1 se muestran los contenidos de agua del aire en tres lugares del túnel para diferentes horas de cuatro días consecutivos. Se observa que la variación de la cantidad de agua en el aire a lo largo del túnel es pequeña. Por estas razones, en el modelo anterior se han hecho dos simplificaciones. Por una parte se ha considerado el contenido de agua del aire como constante, anulándose los términos que contienen su derivada espacial y no se ha considerado la ecuación de balance de agua. Por otra parte, se ha simplificado la resolución de las ecuaciones restantes, calculando un valor medio de la temperatura en el túnel.

Día	Hora	w entrada	w centro	w salida
		[g agua/ kg a.s.]	[g agua/ kg a.s.]	[g agua/ kg a.s.]
1	10.33	10.4	10.2	9.9
1	11.33	12.4	11.8	11.7
1	12.33	13.1	13.2	13.7
1	14.33	13.9	13.4	13.3
1	15.33	14.1	14	11.8
1	16.33	12.9	13	12.5
2	10.5	9.1	8.6	9.3
2	11.67	7.8	8.2	8.3
2	12.67	7.7	8.3	9.7
2	14.67	9.3	9.5	10.2
2	15.67	8.9	8.6	9.5
3	10.5	7.6	8.7	8.8
3	11.75	8.1	9.5	9.3
4	10.5	8.2	9.6	9.6
4	11.5	8	9.4	9.1
4	12.5	9.5	9.7	10.8
4	14.8	9.7	10	10.3

Tabla 1. Contenido de agua en el aire para distintas secciones del túnel

Los resultados obtenidos, que se muestran en la figura 4 son buenos, dentro del margen de error de las mediciones, de aproximadamente 1 °C en las temperaturas, lo que justifica las simplificaciones realizadas. De todos modos, si fuera necesario, en la interpretación de futuras experiencias, se puede aplicar el modelo completo. El ajuste del modelo se logra con valores del coeficiente global de absorción de radiación incidente en el interior del túnel igual a 0,3 para temperatura de la cubierta de plástico de 28,5 °C.

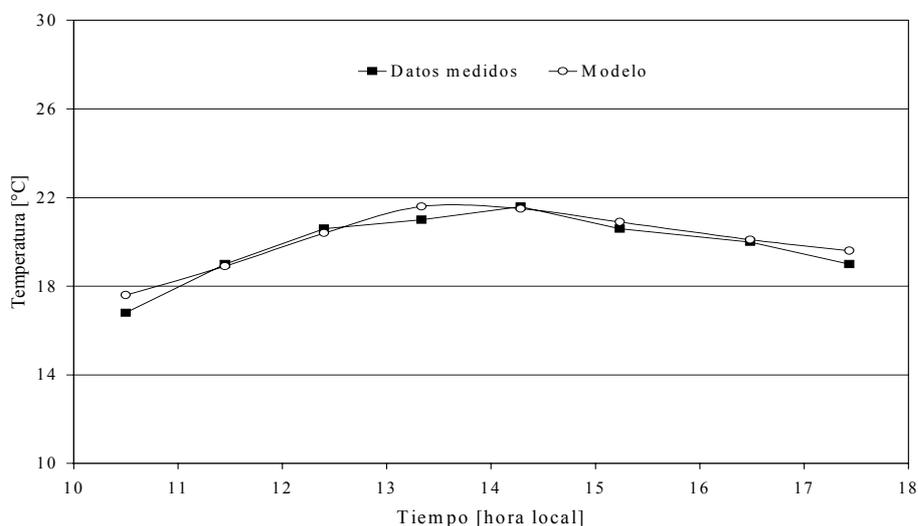


Fig. 4. Temperaturas obtenidos experimentales y por medio del modelo teórico en función del tiempo

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales demuestran la factibilidad de obtener condiciones ambientales acorde con las necesidades del método para producir plantas de nogal injertadas con una rápida formación del callo de cicatrización. La versatilidad del diseño de la cámara de vegetación permite su uso para otros tipos de producción de plantas frutícolas, ornamentales y horticolas. Con estos resultados se asegura la posibilidad de trabajar simultáneamente con distintas condiciones ambientales en

cada túnel, lo que permite una mayor rentabilidad y menor tiempo de amortización de la infraestructura y del equipamiento interior a la cámara.

El modelo matemático simulado representa el comportamiento del túnel de plástico interior a la cámara de cría, dentro de los márgenes de errores de los datos experimentales.

NOMENCLATURA

$C_{p,as}$	Calor específico del aire seco [$J\ kg^{-1}\ ^\circ C$]
$C_{p,v}$	Calor específico del vapor de agua [$J\ kg^{-1}\ ^\circ C$]
d	Ancho del túnel [m]
D_v	Difusividad del vapor en el aire [$m^2\ s^{-1}$]
G_w	Aporte de agua del sistema de nebulización [$kg\ m^{-1}\ s^{-1}$]
H_i	Radiación solar incidente dentro del techo del túnel [$W\ m^{-2}$]
H_o	Radiación solar incidente sobre el techo del túnel [$W\ m^{-2}$]
hc_2	Coficiente convectivo entre el plástico y el aire interior al túnel [$W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$]
hc_3	Coficiente convectivo entre el sustrato y el aire interior al túnel [$W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$]
hc_1	Coficiente convectivo entre el plástico y el aire exterior al túnel [$W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$]
hm	Coficiente de transferencia de masa de agua al aire (moles) [$m\ s^{-1}$]
$h'm$	Coficiente de transferencia de masa de agua al aire (kg y Pa) [$m\ s^{-1}$]
k	Conductividad térmica del aire [$W\ m^{-1}\ ^\circ C^{-1}$]
L	Longitud del túnel [m]
Le	Numero de Lewis
$m_{p,a}$	Flujo másico del aire [$kg\ s^{-1}$]
$m_{p,w}$	Flujo másico del agua [$kg\ s^{-1}$]
M_w	Peso molecular del agua
M	Peso molecular del aire húmedo
p	Relación perímetro/ancho
$P_{v,a}$	Presión de vapor del aire [$J\ kg^{-1}$]
$P_{v,s}$	Presión de vapor saturado [$J\ kg^{-1}$]
T_p	Temperatura de la cubierta de plástico del túnel [$^\circ C$]
$T_{a,bt}$	Temperatura del aire debajo del techo del túnel [$^\circ C$]
$T_{a,bm}$	Temperatura del aire debajo de la mesada [$^\circ C$]
$T_{a,in}$	Temperatura del aire en el interior del túnel [$^\circ C$]
$T_{a,st}$	Temperatura del aire sobre el techo del túnel [$^\circ C$]
$T_{a,s}$	Temperatura del aire sobre la superficie del sustrato [$^\circ C$]
T_s	Temperatura del piso (suelo) en el interior del túnel [$^\circ C$]
T_{su}	Temperatura del sustrato a nivel de la raíz [$^\circ C$]
s	Relación entre el ancho de mesada y ancho del túnel
x	Coordenada a lo largo del túnel [m]
$w(x)$	Contenido de agua [$gr\ kg^{-1}\ as$]
α	Coficiente global de absorción de la radiación incidente en el interior del túnel
α_a	Difusividad térmica [$m^2\ s^{-1}$]
ρ_a	Densidad del aire [$kg\ m^{-3}$]
λ_{fg}	Calor de vaporización [$J\ kg^{-1}$]

BIBLIOGRAFIA

- Bistoni S., Iriarte A. y Saravia L. (1999). Aplicación de colectores intercambiadores de plástico para la calefacción de invernaderos. Actas del XXII Congreso de Horticultura, Tucumán, Argentina.
- Hartmann H. y Kester D. (1972). Propagación de Plantas. Principios y Prácticas. 2ª. Impresión. Compañía Editorial Continental, S.A.
- Iriarte A., Lesino G., Matías C. y Tomalino L. (1999). Comportamiento higrótérmico en invierno de una cámara para propagación de plantas. Revista Avances en energías renovables y medio ambiente, Vol. 2, N° 1, pág. 02.13 - 02.16.
- Incropera F. P. y De Witt (1996), D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4ª. Edición, John Wiley & Sons.

ABSTRACT. The intensive production of fruit tree plants in controlled chambers is restricted to the months in which plants have hormonal activity. In order to decrease the payback time of the building and its equipment, the possibility of using the system for other productive applications is analyzed. Therefore, the feasibility of changing the working conditions of the chambers is tested for the grafting of walnut plants. The new temperatures and humidities are shown. A simulation code is developed. The good results obtained show the versatility of the facility.