

## **SIMULACION Y COMPORTAMIENTO DE UN ENFRIADOR EVAPORATIVO EN UNA CAMARA DE MICROINJERTACION<sup>#</sup>**

V. García, A. Iriarte<sup>1</sup>, S. Flores Larsen<sup>2,3</sup>, G. Lesino<sup>1,3</sup>, y C. Matías<sup>4</sup>  
INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa  
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina. Email: [vgarcia@plab.unca.edu.ar](mailto:vgarcia@plab.unca.edu.ar)

### **RESUMEN**

En las cámaras para la producción de plantines por microinjertación es necesario controlar y regular adecuadamente la temperatura y humedad requerida por el material vegetal a multiplicar. En un trabajo anterior se presentaron los resultados del acondicionamiento de una cámara utilizada para producir plantines de nogal. En el presente trabajo se muestran los resultados de la simulación del sistema de refrescamiento evaporativo y de la cámara, para la cual se utilizó el programa SIMEDIF para Windows. Esta simulación permitió predecir la performance higrótérmica del sistema durante el verano.

**Palabras clave:** Cámara de microinjertación, nogal, refrescamiento evaporativo

### **INTRODUCCIÓN**

La provincia de Catamarca (28,38° Lat. Sur, 66° Long. Oeste, 600 m s.n.m) se caracteriza por veranos cálidos, muy secos y con vientos predominantes del sector Norte, condiciones que limitan el empleo de la técnica de injertación en campo para la producción de nuevas plantas de nogal (*Juglans regia L.*).

Además, este tipo de propagación exige de instalaciones adecuadas que permitan el control de factores climáticos tales como temperatura, iluminación y humedad para alcanzar la germinación, cicatrización del callo y producción de plantas (Sitton, 1993, Moraldi y Lanzi, 1993).

En la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Catamarca se está desarrollando un proyecto para la obtención de plantas de nogal por microinjertación de plantines. Para tal fin se acondicionó un local, tipo invernadero. En una primera etapa se realizó el monitoreo del invernadero bajo distintas condiciones de cubierta (García et al., 2003). De los resultados obtenidos surgieron modificaciones, como la incorporación de una cobertura de plástico LDT, que se implementaron en una segunda etapa (García et al., 2004).

Por otra parte, las necesidades de la cicatrización de las uniones injerto – portainjerto requieren de una humedad relativa entre el 60% y el 70% y ciertos rangos de temperatura cuyos valores dependen de la especie. En el nogal esta unión no se produce si la temperatura ambiente se encuentra por debajo de los 20 °C o sobre los 38 °C, obteniéndose máxima cicatrización entre los 25 °C y 30 °C (García et al., 2002)

Dadas las condiciones de clima árido de esta zona, con deficiencia hídrica permanente (alrededor de 348 mm anuales), elevada heliofanía y altas temperaturas (condiciones de semidesierto), se producen valores altos de evapotranspiración, con lo que el refrescamiento a través de equipos de enfriamiento evaporativo es una opción viable y muy adecuada para disminuir la temperatura del aire y aumentar su contenido de humedad.

En este trabajo se evalúan el comportamiento experimental y la simulación higrótérmica del sistema de refrescamiento evaporativo instalado en la cámara de microinjertación, durante 6 días de verano. Para la simulación se utilizó el programa SIMEDIF para Windows (Flores Larsen y Lesino, 2001) y se comparan los resultados obtenidos con los datos experimentales.

### **DESCRIPCIÓN DE LA CAMARA DE MICROINJERTO**

La cámara tiene una superficie cubierta de 46,67 m<sup>2</sup> con eje de orientación Norte – Sur. Las paredes laterales y frontal Sur están construidas con mampostería de ladrillos con revoque interior y exterior, asentadas sobre cimiento de hormigón, el frontal Norte está compuesto por el sistema de refrescamiento evaporativo y una superficie vidriada en la parte superior. Sobre los muros laterales se ha colocado un cerramiento de carpintería metálica con porta vidrios sobre la cual se asientan la cubierta superior formada por cabreadas de perfiles metálicos que soportan la cobertura de fibra de vidrio semitranslúcida de

---

<sup>1</sup> Investigador del CONICET

<sup>2</sup> Becaria Posdoctoral de CONICET

<sup>3</sup> INENCO, Universidad Nacional de Salta.

<sup>4</sup> E.E.A. INTA – Catamarca

<sup>#</sup> Financiado por ANPCYT PICT 2000 13-09991 y CIUNSA 1088 y 1332.

baja transparencia, debajo de la cual se ha colocado una cobertura de plástico LDT de larga duración térmica y con tratamiento UV, para mejorar la hermeticidad del recinto y lograr una adecuada refrigeración.

En el interior se encuentran tres mesadas de hierro que tienen incorporadas un sistema de tuberías de polietileno de 0,013 m de diámetro por donde circula agua caliente provista por una caldera de 25 kW impulsada por una electrobomba de 746 W (1 HP). Estas tuberías se cubren con perlitas hasta el borde superior de cada mesada. La temperatura del agua se regula de acuerdo a las necesidades térmicas del sustrato. En la Figura 1 se observa el interior de la cámara de microinjertación.



Fig. 1.- Interior de la cámara de microinjerto de nogal modificada.

### SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Esta compuesto por una panel de enfriamiento evaporativo del tipo “Cooling System” o “Hidrocooling” relleno con virutas de paja. Este material es uno de los más prácticos, puesto que su gran disponibilidad permite renovar el relleno cuando es necesario, sin un costo importante. El panel está ubicado en el cerramiento Norte (Fig. 2) y sus dimensiones son: 3,80 m de ancho, 1,00 m de altura y 0,20 de espesor.

El mojado del lecho se realiza por la parte superior y por el frente mediante microaspersores. El agua circula por gravedad por la paja y se recoge en una canaleta que la conduce a un reservorio para su recirculación. El aire circulante se mueve mediante un extractor de 0,65 m de diámetro de 1,5 kW y 2 HP, que esta ubicado en el extremo opuesto del recinto (frontal Sur), como se muestra en la Figura 3. El sistema se pone en funcionamiento cuando la temperatura ambiente dentro de la cámara es superior 27°C, momento en el cual se encienden automáticamente el extractor y la bomba de recirculación de agua. En pleno funcionamiento el caudal del extractor es de 10 renovaciones por hora.

Este sistema se completa con tres hileras de nebulizadores colocados a 1.00 m de altura de la cama de enraizamiento. Estos nebulizadores permiten crear niebla artificialmente a fin de mantener alta la humedad relativa y disminuir la temperatura interior, lo cual reduce la transpiración y respiración de las hojas. Los sistemas MIST se instalan para usarlos tanto en invierno como en verano.



Fig. 2.- Panel de enfriamiento evaporativo, vista exterior.



Fig 3.-. Extractor de aire y nebulizadores.

### MONITOREO Y SIMULACIÓN DE LA CAMARA Y DEL HIDROCOOLING

#### Sensores utilizados y ubicación dentro de la cámara

El periodo analizado abarca desde el 19 hasta el 24 de Febrero. Para las mediciones y el control de las principales variables físicas en el ambiente interior y exterior, se utilizó una computadora AT con tarjetas de adquisición de datos Keithely 1600 y PCLab 812, sensores para medición de temperatura de aire tipo LM, Vaisalas para medir la humedad relativa, radiómetros Kipp & Zonen y piranómetros LICOR 200 SA.

A lo largo del eje central horizontal, se colocaron tres sensores de temperatura (a 2,00 m, 6,00 m y 8,00 m desde el panel de refrescamiento). En la dirección vertical se colocaron sensores en el piso, a 1,50 m por sobre la mesada central y a 0,50 m del techo. Las condiciones del aire luego de atravesar el panel, se midieron a una distancia de 0,50 m del panel y a 0,90 m del

suelo. También se realizaron mediciones de iluminación y radiación interior, humedad relativa, radiación y temperatura exterior.

#### Datos de entrada para la simulación del enfriador y de la cámara

Para realizar la simulación del sistema de enfriamiento evaporativo se utilizaron como datos de entrada la temperatura y humedad relativa del aire exterior (ingreso del enfriador) y la temperatura del agua. Para la simulación del enfriador evaporativo, se tomó como datos de ingreso la temperatura y la humedad relativa ambiente exterior, un área unitaria del panel de 100 l/m, la temperatura de agua a la entrada de 30 °C, un flujo de 0,1 kg/s, la velocidad de 0,65 m/s, mientras que para el aire que sale del hydrocooling fue de 0,1 m/s.

SIMEDIF permite acoplar el sistema de enfriamiento a un local, con lo que se puede realizar el cálculo del comportamiento térmico de la cámara con la incorporación del enfriador evaporativo. Los datos de entrada utilizados para simular la cámara han sido descritos en detalle en trabajos anteriores (García et al., 2003, 2004). Algunas características de los elementos utilizados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos utilizados en SIMEDIF para Windows para la descripción de la cámara de microinjertos

Componentes	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Área de radiación	Nº de capas
<b>Paredes</b>			
Lateral Este	13.5	3	3
Lateral Oeste	13.5	2.5	3
Lateral Sur	9.91	0	3
Piso	46.67	16	2
<b>Tabiques</b>			
Hydrocooling	4.86	4.86	
<b>Puerta</b>			
Puerta Sur	0.70		

La radiación solar que ingresa a la cámara y la que incide en las paredes se describen mediante índices y áreas de radiación. Se tomó un área de radiación de piso de 16 m<sup>2</sup> respectivamente, valor que incluye la sombra de las mesadas que componen las camas de enraizamiento. Para el coeficiente convectivo sobre paredes, piso y tabiques se utilizaron valores de 6 W.m<sup>-2</sup>.°C<sup>-2</sup> para superficies interiores y 10 W.m<sup>-2</sup>.°C<sup>-2</sup> para superficies exteriores. Las variables de ajuste fueron las renovaciones de aire por hora, con un valor del orden de 10. Debido a que el edificio es liviano, se simularon tres días previos, suficientes para alcanzar las condiciones iniciales monitoreadas y asegurarse que el edificio se encuentra en régimen estacionario antes de ingresar los datos climáticos medidos.

#### Resultados del monitoreo y simulación

En la Figura 4 se muestran las condiciones ambientales exteriores monitoreadas. La humedad relativa exterior (HR,extE) tomó valores entre 15% y 60%, con excepción del primer día en que alcanzó el 90%. La temperatura ambiente exterior (Ta,extE) se ubicó entre 15°C y 34 °C. Durante estos días el cielo estuvo despejado, con buena luminosidad y irradiancia máxima sobre superficie horizontal de 1100 W.m<sup>-2</sup> al medio día solar. En el interior de la cámara, el sistema de cubiertas disminuye la irradiancia a un 27 % de la irradiancia exterior, con niveles de iluminación diurna que alcanzaron los 12.000 lux a las 13 horas.

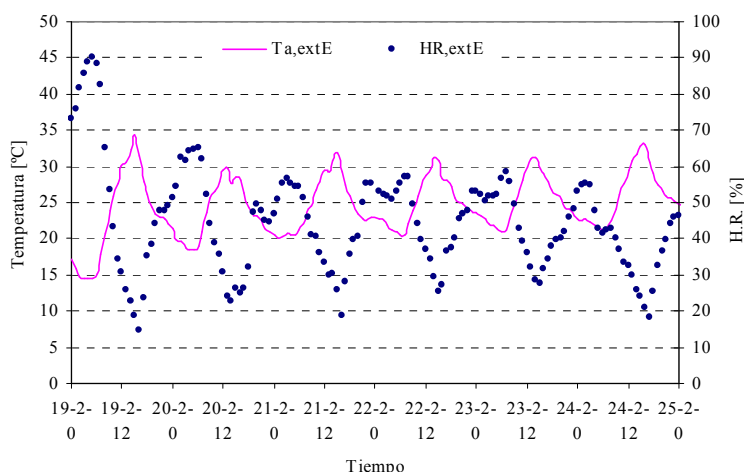


Fig. 4.- Temperatura y humedad relativa exterior.

En la Figura 5 se muestra la temperatura del aire, medida y simulada, luego que atraviesa el enfriador evaporativo. Es importante destacar que los picos que se observan en los datos simulados corresponden a las horas de encendido y apagado del sistema de enfriamiento. Durante las horas en que funciona el sistema, algunos valores experimentales (Ta,salE) superan a los simulados (Ta,salS) en a lo sumo 1°C. Sin embargo, si se ajustara la simulación para que ambos valores coincidieran,

aparecería un problema en el ajuste de la temperatura del local (Figura 7), la cual se encontraría siempre por debajo de lo medido. La explicación a esta situación es que, durante las horas de funcionamiento del hydrocooling, la temperatura de salida experimental no se midió exactamente en un punto central a la salida del enfriador (en que los efectos de borde pueden despreciarse), sino en la parte superior (0.9m del suelo) y a medio metro de distancia horizontal del enfriador, con lo que ya existiría una mezcla del aire frío con el aire más caliente de la cámara. calentamiento del aire debido a procesos de mezcla.

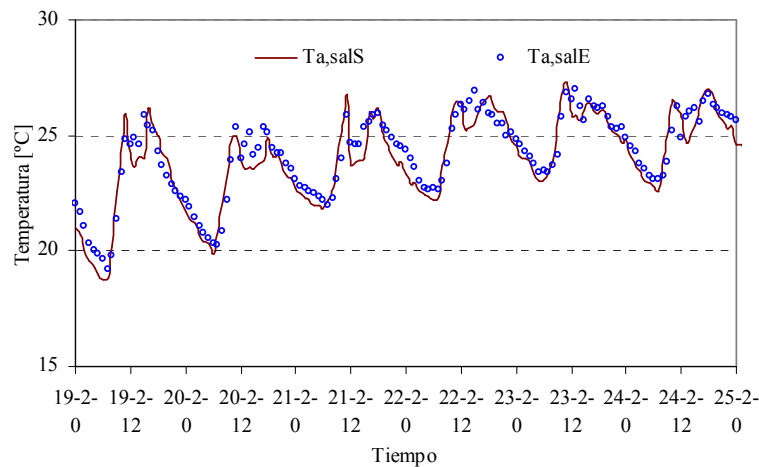


Fig.- 5. Temperaturas simulada y experimental de salida del sistema de enfriamiento evaporativo.

La simulación de la humedad de salida se muestra en la Figura 6. En los periodos en que no funciona el enfriador, no se realizan cálculos de humedad por lo que en el gráfico no aparecen (ceros). Durante las horas de funcionamiento (desde las 10 hs hasta las 19 hs), la humedad relativa simulada (HR,salE) y experimental (HR, salS) alcanzó valores de alrededor del 70%, para humedad relativa exterior (H.R,exE) muy baja y cercana al 20% (ver Figura 4). La humedad medida a la salida del panel toma su valor mínimo (alrededor del 45%) alrededor de las 10hs, debido a que al no funcionar el enfriador es la misma que la humedad exterior. En ese momento empieza a funcionar el sistema de enfriamiento y aumenta la humedad interior. Cuando el sistema se apaga (19 hs) automáticamente debido a que la temperatura interior de la cámara se encuentra por debajo de los 27°C, la humedad en el interior llega hasta un 90% a causa del funcionamiento del sistema de niebla que permite regar y mantener húmedo el sustrato en que se encuentran los esquejes.

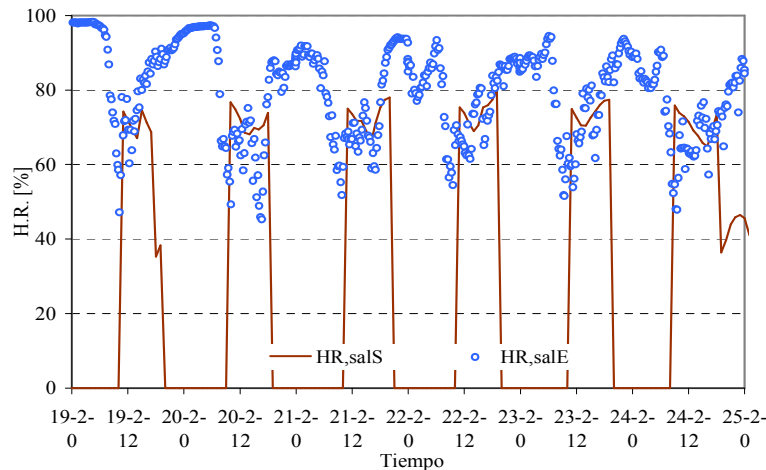


Fig. 6. Humedad relativa simulada y experimental de salida del enfriador evaporativo.

La Figura 7 muestra los resultados de la temperatura ambiente interior simulada ( $T_{a,inS}$ ) y experimental ( $T_{a,inE}$ ) del local, en donde se encuentra incluido el efecto del enfriador. Se observa un buen ajuste de las temperaturas medias y amplitudes térmicas simuladas y medidas, como así también el establecimiento de las horas en que se producen los máximos y mínimos de temperatura. La diferencia promedio entre los datos medidos y simulados es menor que 0.5 °C. Es interesante observar que al ser un edificio liviano, la temperatura interior durante la noche debería bajar hasta alcanzar aproximadamente la temperatura exterior. Esto no sucede debido a la presencia de la calefacción en las mesadas que introducen una ganancia interna adicional que eleva la temperatura de la cámara de microinjertación.

Las temperaturas medidas con los tres sensores ubicados a lo largo del eje horizontal (Figura 8), muestran que el aire alcanza su menor temperatura en el extremo Sur, opuesto al panel de refrescamiento. La temperatura es hasta 3 °C más baja que la mesada en el extremo Norte, el más cercano al hydrocooling. Esto se explica por la ubicación de los sensores, que se encuentran encima de las mesadas: la circulación del aire fresco que sale del hydrocooling sería por la zona bajo mesada, alcanzando mayores alturas recién en el extremo Sur debido a la presencia del extractor.

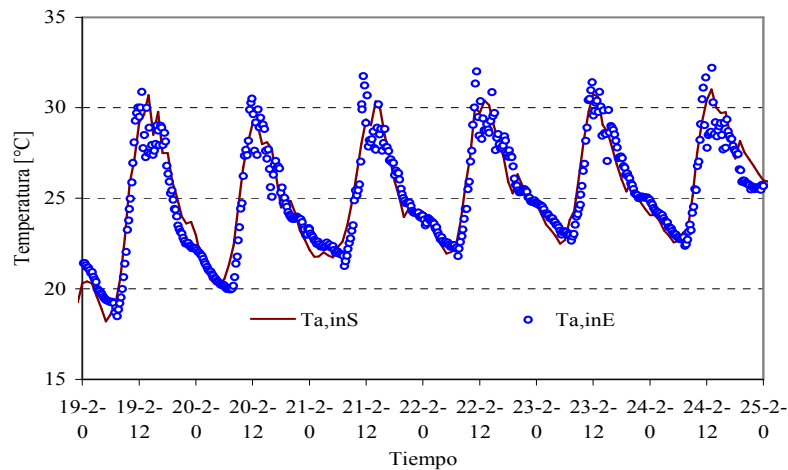


Fig. 7. Temperatura ambiente interior experimental y simulada de la cámara de microinjerto.

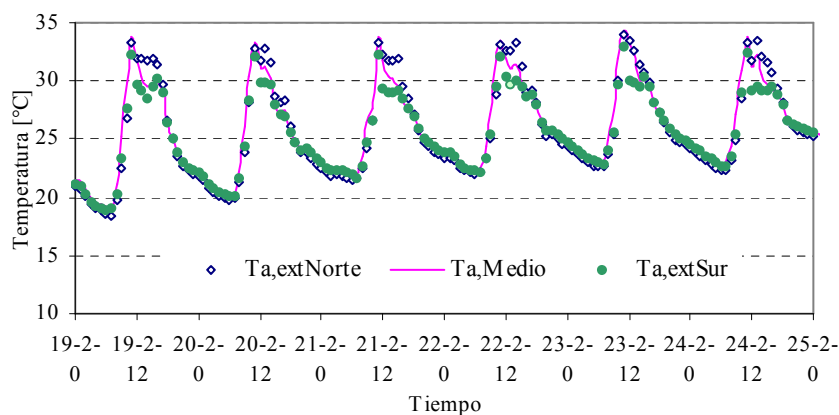


Fig. 8. Temperatura ambiente en el interior de la cámara a los largo del eje horizontal (a 2.00 m, 6.00 m y 8.00 m desde el panel de refrescamiento).

## CONCLUSIONES

Los ensayos realizados permitieron analizar el comportamiento de la cámara de microinjertación con el sistema de enfriamiento evaporativo en funcionamiento. Desde el punto de vista higrotérmico se lograron resultados óptimos para el uso de la misma para propagación de plantas de nogal a través del microinjerto.

Los resultados obtenidos mediante la simulación del sistema hydrocooling utilizando el programa SIMEDIF para Windows ajustan aceptablemente los datos medidos experimentalmente siendo este una posibilidad de predecir el comportamiento de sistemas de enfriamiento utilizados en técnicas de producción de cultivos protegidos.

En lo que respecta al hydrocooling, a los efectos de lograr una mejor eficiencia se deberá mejorar la distribución del agua a través de los aspersores que mojan la paja y prever deflectores direccionales del aire a la salida del panel hacia la zona de mesada en que se encuentran los plantines para aprovechar la disminución de temperatura y aumento de humedad adecuadamente.

## BIBLIOGRAFIA

- Moraldi M. y Lanzi, P. (1993). Il riscaldamento localizzato dell' innesto nella produzione vivaistica del noce. Rivista di Frutticoltura, N° 1, pp 53 – 556.
- Sitton B. G. (1993). Vegetative propagation of the black walnut, Tech. Bul., N° 119, Mich. State Univ., pp 119.
- García V., Iriarte A., Lesino G., Flores S., Matías C. (2003). Comportamiento térmico de una cámara para microinjertación de plantines de nogales. Avances en energías renovables y medio ambientes. Vol. 7, pp. 2.19 – 2.24.
- García V., Iriarte A, Flores S. (2002) Simulación del comportamiento térmico de una casa de vegetación para la producción de plantas frutales. Avances en energías renovables y medio ambientes. Vol. 6, N° 2.
- García V., Iriarte A, Lesino G., Flores S. (2004) Cámara bioclimática para producción de plantines injertados de nogal y propagación de algarrobos Avances en energías renovables y medio ambientes. Vol. 8, N° 1, 2.49 – 2.53
- Flores Larsen S., Lesino G., (2001) Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 9, pág. 15 – 23.

## **ABSTRACT**

In seedlings production chambers by micro-grafting techniques, it is necessary to control and adjust the temperature and humidity required for the vegetal material to reproduce. The results of the chamber conditioning to produce walnut seedling were present in a previous work. In the present paper simulation by SIMEDIF for Windows of the hydrocooling system and chamber is present. This simulation allowed to predict the hygrothermal performance of the system during the summer.

**Keywords:** Grafting chamber, walnut, hydrocooling.