

CALENTAMIENTO DE CAMAS DE ENRAIZAMIENTO MEDIANTE UN SISTEMA MIXTO SOL – GAS[#]

V. García, A. Iriarte¹, M. Watkins², G. Lesino^{1,3} y J. Rigotti
INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina. Email: vgarcia@plab.unca.edu.ar

RESUMEN: Para la producción de plantas utilizando el método de propagación por estacas en mesadas o canteros calefaccionados es importante que las temperaturas del sustrato se mantengan en rangos prefijados. Para lograr las condiciones óptimas de enraizamiento, se propone, en este trabajo, calentar las mesadas utilizando un sistema mixto sol – gas a través de colectores solares y un termotanque a gas envasado para calentar el agua que circula a través de cañerías. Se describe el funcionamiento del sistema completo y se analizan los resultados de los ensayos realizados. La simulación de las mesadas se realizó utilizando el programa Simusol. El error relativo porcentual entre la temperatura experimental y simulada del agua fue del 1,05 %. Los resultados demuestran la conveniencia del uso de los colectores solares para el calentamiento de las camas en sistemas productivos, con el propósito de ahorro de energía.

Palabras clave: producción de plantas, camas calefaccionadas, colectores solares

INTRODUCCION

De la gran demanda de plantas frutales por los emprendimientos agrícolas, y la necesidad de proveer de plantas para reforestar zonas degradadas en la Provincia de Catamarca, surge la necesidad de producir una cantidad importante de plantines especialmente de higuera, nogal, olivo y algarrobo. La técnica más utilizada por los viveristas es la propagación agámica, que consiste en separar una estaca de la planta madre y colocarla bajo niebla para la formación de raíces y tallos. Para lograr buenos resultados, con esta técnica, se requiere de condiciones bien controladas, a los efectos de conservar todas las cualidades de la planta madre. Durante el proceso de enraizamiento el calentamiento de la zona basal es un factor importante a la hora de evaluar el crecimiento de las plantas (Iriarte A. *et al* 2002, a)

Las condiciones del lugar para realizar el enraizamiento de las distintas especies son temperaturas entre los 18 a 21 °C para higuera, nogal y olivo, y de entre los 32 °C a 35 °C para el algarrobo. Temperatura en la zona media y apical entre 21 y 25 °C. Una humedad ambiente para evitar la deshidratación por pérdida de agua a través de las hojas del 80%. Medio de enraizamiento limpio, húmedo, con buen drenaje y aireación. Tipo y concentración del regulador de crecimiento (hormona de crecimiento) adecuado para la especie y variedad a enraizar.

Las camas para realizar el enraizamiento pueden ser calefaccionadas mediante resistencias eléctricas que son colocadas por debajo del gabinete que contienen el sustrato utilizado para colocar las estacas. Otra alternativa es la circulación de fluido caliente por conductos o mangueras colocadas convenientemente; cuando el fluido es aire, la infraestructura requerida es de bajo costo, pero la conducción entre puntos distantes se encarece debido a su baja densidad y capacidad térmica. Este problema se evita con el empleo de agua, pero el costo de inversión es más elevado. (Iriarte A. *et al* 2002, b)

En trabajos anteriores se han presentado los resultados agronómicos en la producción de nogales y algarrobos en una cámara bioclimática ubicada en el predio de la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA – Catamarca), evaluándose el comportamiento térmico y analizándose la factibilidad del uso simultáneo para microinyección y enraizamiento, (García V. *et al.*, 2002, García V. *et al.*, 2003, Iriarte A. *et al.*, 2006).

El objetivo del presente trabajo es el análisis del comportamiento térmico y la simulación de una cama de enraizamiento para la propagación agámica de plantas, que utiliza agua calentada por un sistema mixto sol – gas, mediante el empleo de un colector solar y un termotanque a gas envasado, que circula a través de cañerías colocadas debajo del sustrato permitiendo que estas se mantengan a la temperatura óptima. La simulación fue realizada para calibrar y/o validar un modelo computacional para ser usado como una herramienta que permita predecir y realizar un análisis de los requerimientos térmicos del sistema y además establecer pautas de diseño.

[#] Parcialmente financiado ANPCyT, UNCa, INTA

¹ Investigador del CONICET

² Fac. Ciencias Exactas y Naturales, U.N.Catamarca

³ INENCO – U.N.Salta - Argentina

MATERIALES Y MÉTODO

Como infraestructura se utilizó una cámara de 46,67 m² de superficie cubierta con eje central orientado Norte - Sur. Las envolventes Este y Oeste se construyeron con mampostería de ladrillos de 0,15 m de espesor y 1 m de altura, con revoque interior y exterior, sobre las cuales se asienta un vidriado en carpintería de aluminio. La pared Sur, sin vidriado, se construyó con la misma mampostería, asentada sobre cemento de hormigón, mientras que el cerramiento Norte se compone de un panel para el sistema de refrescamiento en la parte inferior y una superficie vidriada en la parte superior. Más detalles constructivos se encuentran en el trabajo de García *et al.* (2003). En su interior se encuentran las mesadas utilizadas como camas de enraizamiento.

Descripción de las camas de enraizamiento

Las mesadas utilizadas están construidas con hierro, tienen la forma de un cajón de 0,20 m de altura, 0,80 m de ancho y 10 m de largo, con base de material desplegado metálico montadas sobre patas de 0,80 m de altura. En su interior se depositaron sucesivamente una capa ripio (0,05 m) y una capa de perlita (0,05 m). Sobre la capa de ripio se colocó un sistema de tuberías de polietileno de 0,0127 m de diámetro, separadas entre ellas una distancia de 0,10 m, por donde circula agua que calienta la zona de raíz. Las tuberías se cubrieron con perlita hasta el borde superior de la mesada. Fig 1.



Fig.1. Camas de enraizamiento

El calentamiento basal de las estacas se realizó con el calor aportado por las mangueras por donde circula agua calentada que provienen desde un colector solar y/o de un termotanque regulado a la temperatura requerida por cada especie.

Descripción del sistema combinado sol - gas

El sistema está formado por (Fig. 2):

- Dos colectores planos de agua de 0.80 m x 2.96 m cada uno
- Un termotanque para calefacción domiciliar de 110 l de capacidad con un consumo de 5,75 W, recuperación 235 l/h y una presión de trabajo de 3,4 kg/cm²
- Un tanque de 100 litros de agua
- Una bomba de 375 W (1/2 HP) para la circulación de agua por las camas desde los colectores y el termo tanque.
- Dos electroválvulas de 1 pulgada y una tensión de 24 V-AC
- Dos válvulas de retención.
- Sensor tipo "termostato" con rango 30 – 90 °C.
- Un caudalímetro
- Sistema de medición y control para la medición de las principales variables de la cámara, mesada, colectores y del ambiente exterior, se utilizó una computadora AT provista con tarjetas de adquisición de datos Keithely 1600 y PClab 812. Se usaron sensores para la medición de la temperatura del aire y del agua tipo LM (semiconductor); radiación solar interior y exterior con radiómetros Kipp & Zonen y piranómetros LICOR 200SA.

Ubicación de los sensores

La distribución de los sensores de temperatura es de la siguiente manera: se ubicaron tres sensores en el interior, a lo largo de la cámara. En las mesadas: entrada y salida de agua, y dos sensores debajo de mesada. En los colectores: entrada y salida de agua en cada uno de ellos, y un sensor tipo termostato en el interior. Termotanque: entrada y salida de agua, y uno en el interior a los efectos de tener referencia del encendido de la llama. Para medir el volumen de agua que ingresa a la mesada se colocó un caudalímetro. La radiación se mide en el interior, frontales norte y sur, techo este y oeste, y en el exterior de la cámara. La Fig. 3 se esquematiza el circuito de distribución del agua por los colectores, termotanque y mesadas.



Fig.2. Vista de la cámara de propagación y el sistema solar – gas

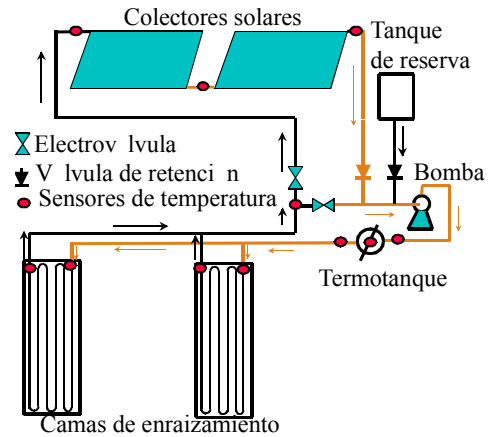


Fig.3. Esquema del circuito de distribución de agua

Rutina de funcionamiento

El sistema de control se basa en la comparación de una temperatura de referencia (T_{ref}) y la temperatura del agua que circula por las mangueras de la mesada, 30 - 35 °C. La temperatura de referencia es fijada en el sensor que se encuentra colocado en la placa de uno de los colectores

Durante el día, si hay radiación ($T_{ref} > 32$ °C) el sistema de control (electroválvulas) ordena la circulación del agua a través de los colectores, luego pasa por el termotanque y llega a las mesadas. En el caso de no haber radiación (noche, o día nublado) el agua no circula por los colectores pasando directamente por el termotanque en donde se calienta a la temperatura requerida. Un sensor colocado en el interior del termotanque registra el encendido y apagado del mismo lo que permite determinar el tiempo de funcionamiento y energía consumida.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para realizar el análisis del funcionamiento del sistema se ha realizado mediciones durante seis días consecutivos, los dos primeros días el sistema funcionó automáticamente de acuerdo a rangos de temperatura prefijados, en el tercer y cuarto día de funcionamiento, se clausuró el paso del agua por los colectores a efectos de evaluar el tiempo de encendido y apagado del termotanque, en los siguientes días el sistema trabajó automáticamente.

En la figura 4, se muestran las condiciones ambientales externas durante los ensayos realizados, los tres primeros y el quinto día fueron claros con una incidencia de radiación horizontal máxima entre los 830 y 900 $W.m^{-2}$, mientras que el cuarto y sexto día estuvo entre los 270 y 350 $W.m^{-2}$ respectivamente para el medio día solar. La temperatura exterior ($T_{a.ext.}$), osciló entre los 8 °C, y los 35 °C.

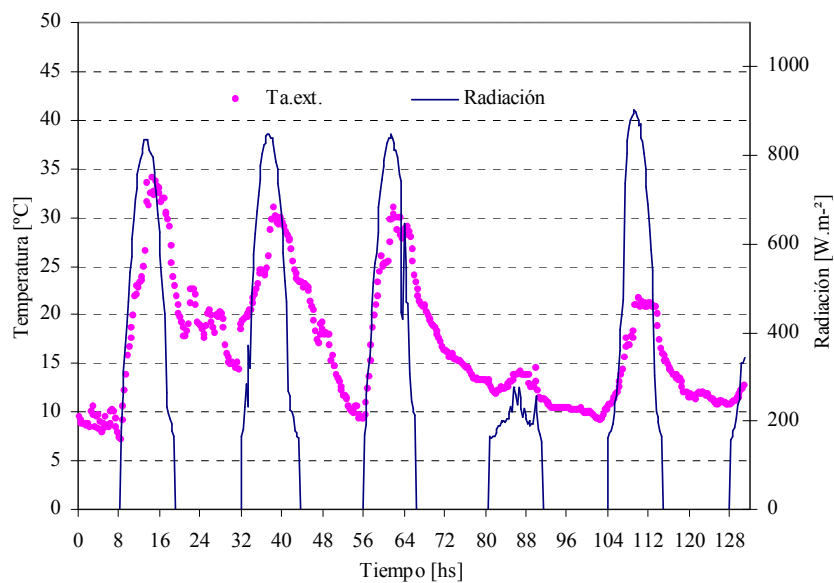


Fig.4. Temperatura y radiación exterior durante los ensayos experimentales

La fig. 5 muestra la temperatura del agua a la salida de los colectores solares, y del termotanque. Se observa que en los dos primeros días, en que el sistema funciona en combinación sol gas, el aporte de los colectores con agua caliente se inició a las 11 hasta las 18 horas, durante este tiempo el sensor ubicado en uno de los colectores permitía el paso del agua proveniente de las mesadas, cuando la temperatura (32 °C) registrada por el sensor disminuye, cierra la electro válvula, y el agua pasa únicamente por el termotanque que está previamente regulado para aportar la temperatura requerida para el enraizamiento. El tercer y cuarto día, el manejo del flujo de agua fue manual cerrando el paso por los colectores a los efectos de poder comparar el consumo de energía del termotanque. Los dos últimos días se reguló nuevamente el sistema en forma automática, el quinto con día claro el agua aportada por los colectores fue durante seis horas. El último día con una radiación solar máxima de 350 W.m⁻², el aporte de los colectores fue nulo por lo que el termotanque funcionó durante todo el día. Los registros (1) y (0) ubicados en el eje secundario de la gráfica, nos indican el tiempo en que se enciende y se apaga el termotanque durante los días de ensayo. Se observa que durante los días en que los colectores aportaron agua caliente a las camas de enraizamiento, el consumo de gas por el termotanque disminuyó entre el 35 y 42 % con respecto a los días en que los colectores no estaban conectados al sistema o estuvo nublado.

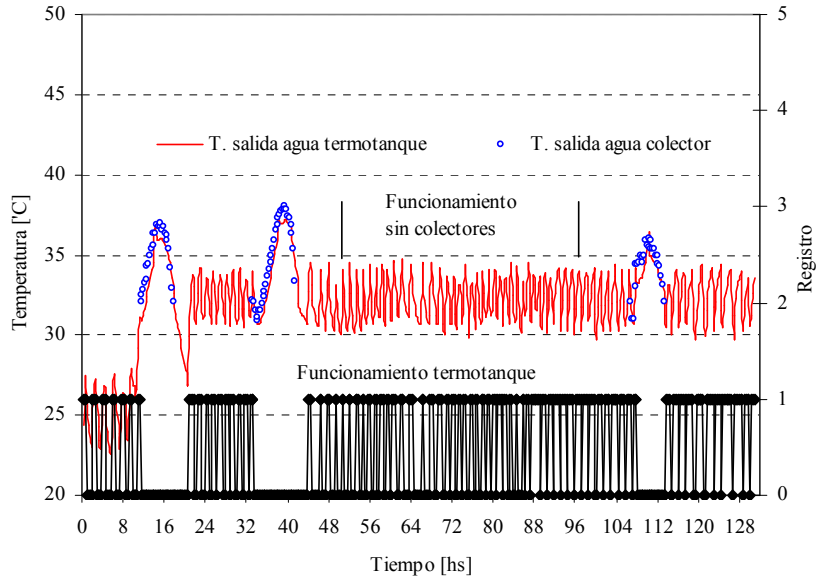


Fig. 5. Temperatura de salida de agua del colector y del termotanque y funcionamiento del termotanque durante los ensayos experimentales

Los valores de las temperaturas de entrada y salida del agua de las mesadas se muestran en la figura 6, en ella se observa el aporte de los colectores solares durante el primero, segundo y quinto día, alcanzando valores de hasta 37 °C, mientras que durante los restantes días y en las horas sin Sol las temperaturas oscilan entre los 32 °C y los 35 °C, la correspondiente al corte del termostato del termotanque, y que es además la temperatura prefijada por los requerimientos del enraizamiento de las estacas. El caudal de agua que circulaba por las cañerías fue de 0,4 m³.h⁻¹.

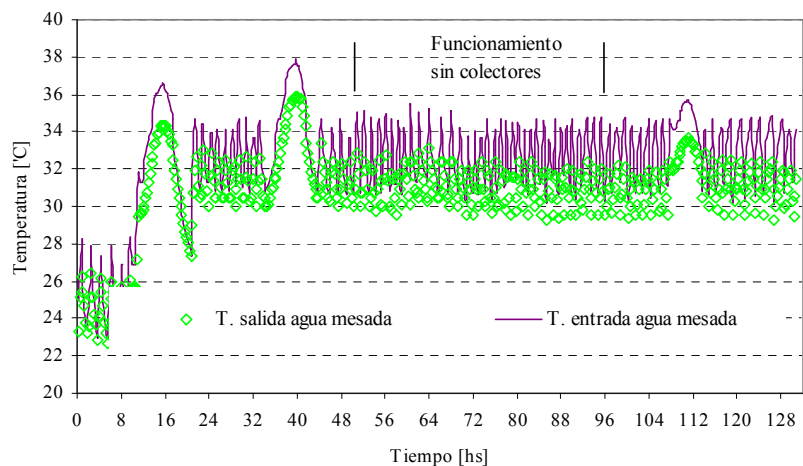


Fig. 6. Temperatura de entrada y salida de agua en las mesadas, y temperatura de salida de agua del termotanque

MODELO Y SIMULACIÓN

Para la simulación se dividió la mesada en tres partes iguales, suponiendo las masas de cada uno de los tercios concentrada en un punto. Los datos experimentales: a) temperatura de entrada de agua, b) radiación interior y c) temperatura ambiente

interior, se incorporaron como “tablas de datos” expresadas en C, mientras que la variable a verificar fue la temperatura de salida del agua. La temperatura de cielo (T_{sky}) se ingresó también como “tabla de datos” empleando para su cálculo la fórmula de Swinbank $T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5}$ (Duffie J. y Beckman, W.-1980), en la que ambas temperaturas se expresan en temperaturas absolutas.

La figura 7 muestra la red térmica generada con SIMUSOL. Las ecuaciones de balance energético se resolvieron empleando la analogía térmica-eléctrica. El nodo 1 corresponde a la temperatura de entrada del agua, mientras que 2, 3 y 4 corresponden a las tres secciones de mesada. Sobre el nodo 4, -última sección de la mesada-, se toma la temperatura de salida del agua. El punto 5 corresponde a la temperatura ambiente en el interior del invernadero mientras que el 6 a la temperatura de cielo. Las resistencias radiativas (R1, R2 y R3) se determinaron considerando un tercio de la superficie de mesada expuesta y la emisividad de la perlita ($\epsilon = 0,90$). Las resistencias conductivas (R4, R5, R6), representantes de las pérdidas de calor por conducción hacia el ambiente se determinaron teniendo en cuenta la conductividad del material de las mesadas, mientras que las tres resistencias de pérdida convectiva (R7, R8, R9) se usaron como variable de ajuste del modelo llegándose a establecer, mediante ensayos, un coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del invernadero (h) de $6 \text{ Wm}^2\text{C}^{-1}$. Los flujos de calor por radiación están en el gráfico simbolizados con JQ5, JQ6 y JQ7, en tanto que los flujos de calor y masa se designaron con JM1 a JM4.

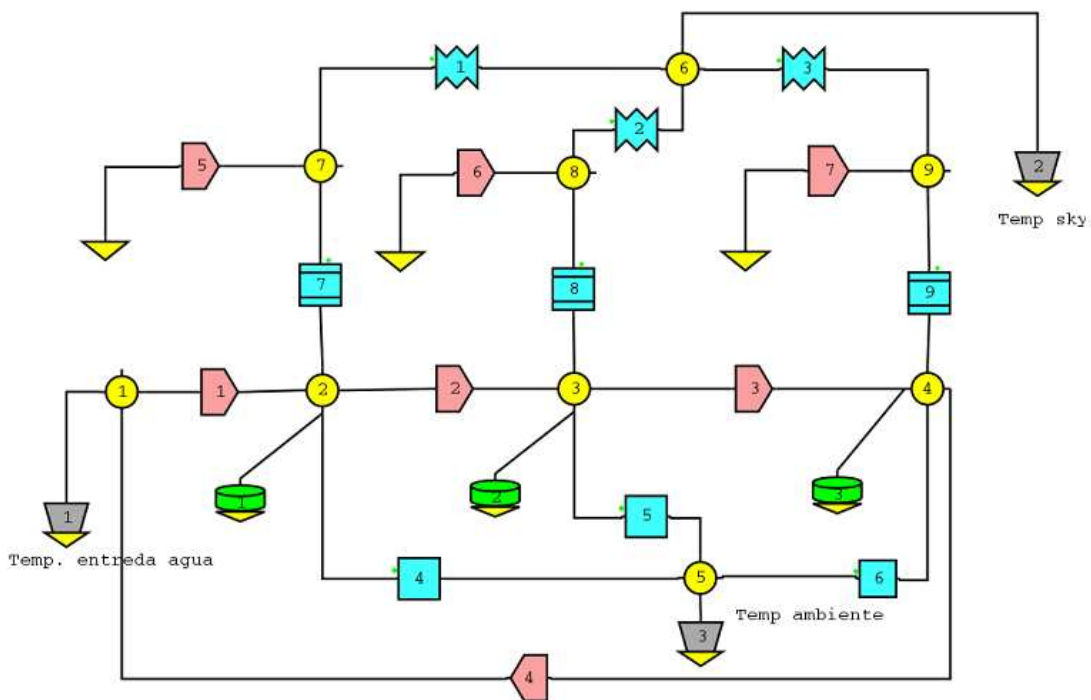


Fig.7. Red térmica para la simulación de mesada calefaccionada utilizando el programa SIMUSOL

Ajuste del modelo

Las variables de ajuste del modelo fueron los coeficientes de transferencia de calor convectivos h . Para la simulación se utilizaron datos experimentales tomados durante un ensayo de treinta horas y se empleó la temperatura de salida del agua como variable a verificar por comparación con los valores medidos.

En la figura 8 se muestra la variación temporal de la temperatura experimental del agua a la salida de la mesada y la curva obtenida mediante el proceso de simulación para el ajuste del modelo. El error relativo porcentual promedio de la simulación es de 1,05 % y el error cuadrático medio resultó de 0,59 °C, mientras que la máxima desviación porcentual se obtuvo con un valor de 4,6 %. Cabe aclarar que la estimación del error incluye los posibles errores de medición

Validación del modelo

Una vez que se determinaron los coeficientes de transferencia h , se simuló el funcionamiento de la mesada para diferentes temperaturas del sistema y condiciones ambientales. Se determinó la variación de las temperaturas del agua en función del tiempo para cada una de las secciones de la mesada, verificándose cierta coincidencia con los datos obtenidos en las mediciones experimentales. En la figura 9, se comparan los datos experimentales de temperatura de salida del agua con los simulados para una de las situaciones ensayadas. La desviación promedio entre los datos experimentales y la curva de ajuste

fue de 3,1% con un error cuadrático medio de 0,88 °C en tanto que el error porcentual máximo fue de 4,9 % considerándose de este modo válido el modelo ya que los resultados son similares en todos los ensayos

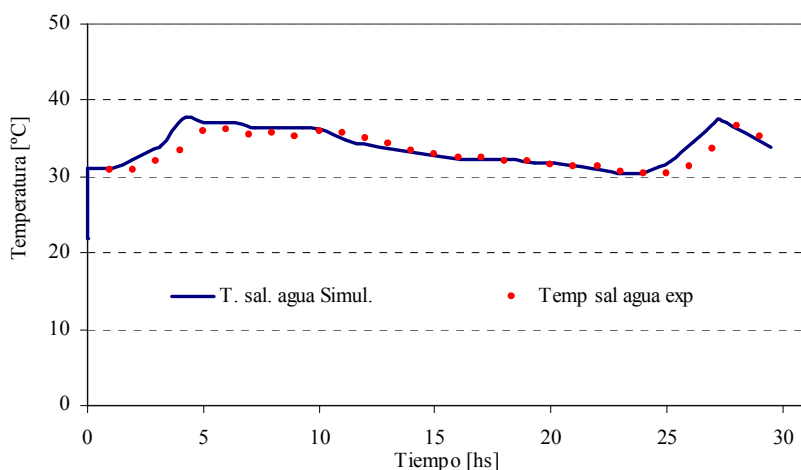


Fig. 8. Temperatura experimental y simulada del agua a la salida de la mesada.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante los ensayos realizados permitieron analizar el comportamiento del sistema sol – gas para la calefacción de camas de enraizamiento. Desde el punto de vista térmico se lograron los resultados esperados, lo que permite disponer de un medio adecuado para la propagación de estacas.

Se plantea como trabajos futuros ampliar el área colectora y la incorporación de un sistema de acumulación del agua calentada para reducir el consumo de gas envasado.

Los resultados logrados mediante la simulación de las camas de enraizamiento utilizando el programa SIMUSOL ajustan aceptablemente los datos medidos experimentalmente siendo éste una posibilidad de predecir el comportamiento de sistemas utilizados en técnicas de producción de cultivos.

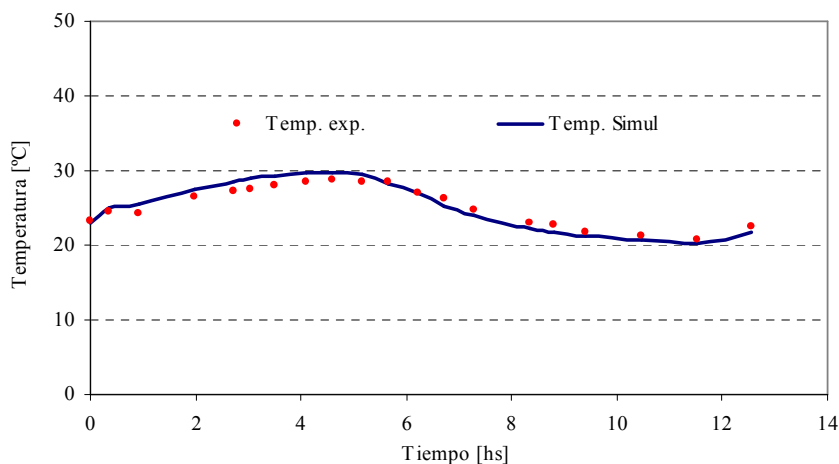


Fig. 9 Comparación de temperaturas experimentales con datos simulados

BIBLIOGRAFÍA

- Duffie J.A. y Beckman, W.A. Solar Ingeneering of Termal Processes, Edit. John Wiley & Sons. 1980
- García V., Iriarte A., Lesino G., Flores S., Matías C. Comportamiento térmico de una cámara para microinjección de plantines de nogales. Avances en energías renovables y medio ambientes. Vol. 7, pp. 2.19 – 2.24, 2003.
- García V., A. Iriarte y S. Flores. "Simulación del comportamiento térmico de una casa de vegetación para la producción de plantas frutales". Revista Avances en energías renovables y medio ambiente, Vol. 6, N° 2, pág. 08.139 - 08.143, 2002.
- Iriarte A., S. Bistoni, L. Saravia. (b) "Modelo de predicción del comportamiento de colectores solares plásticos para calentamiento de sustratos en invernaderos". Revista Avances en energías renovables y medio ambiente, Vol. 6, N° 2, pág. 02.37 - 02.42, 2002.
- Iriarte A., L. Saravia, C. Matias y L. Tomalino. (a) "Invernadero acondicionado con energía solar para rusticar plantas". Revista Energías renovables y medio ambiente, Vol. 11, pág. 25 - 33, 2002.

Iriarte A., V. García, G. Lesino, S. Flores Larsen, C. Matías. "Estrategias bioclimáticas en aplicaciones agroindustriales: producción de plantas de alta calidad". Seminario Internacional CyTED, pág. 143 – 158. ISBN 972-676-200-6, Portugal. 2006.

ABSTRACT: For plant production by stake reproduction in heating bench or bed, it is important to maintain soil temperature within fixed ranges. In this work, bench heated by a mixed solar – gas system is proposed. The heating system consists in two solar collectors and a gas thermo tank. The full system operation is described and the results of trials are analyzed. The benches were simulated by the software SIMUSOL. The relative percentage error between experimental and simulated water temperature was 1.05%. The results show the importance of using solar collectors for heating beds in productive systems, in order to save energy.

Keywords: Plants production, heating bed, solar collectors