

# estación experimental



## CONSUMOS DE ENERGÍA EN INVERNADEROS MULTITÚNEL EN LA REGIÓN DE ALMERÍA. COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

López, J.C.  
Baille, A  
Bonachela S  
Montero J.I  
González-Real M.M  
Pérez-Parra J

Se autoriza la reproducción íntegra o parcial citando su procedencia: Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'

III CONGRESO NACIONAL DE AGROINGENIERÍA  
21 AL 24 de Septiembre de 2005

# Consumos de energía en invernaderos multitúnel en la región de Almería. Comparación de dos sistemas de calefacción

López, J.C.<sup>1</sup>, Baille, A.<sup>2</sup>, Bonachela S.<sup>3</sup>, Montero J.I.<sup>4</sup>, González-Real M.M.<sup>2</sup>, Pérez-Parra J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental de Cajamar Las Palmerillas, 04710 El Ejido, Almería (jclh@cajamar.es).

<sup>2</sup> Área de ingeniería Agroforestal, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 30203, Cartagena.

<sup>3</sup> Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano, 04120 Almería.

<sup>4</sup> IRTA, Carretera de Cabrils s/n, 08348 Cabrils, Barcelona, Spain.

## Resumen

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio comparativo entre dos sistemas de calefacción en invernadero multitúnel con un cultivo de judía en Almería. Los sistemas fueron: (i) aire caliente combustión directa y (ii) agua caliente con tubería metálica. La relación entre el consumo de combustible del sistema de aire y agua varió a lo largo del ciclo entre 0,5 y 1,0 ; dependiendo de la temperatura de consigna y del desarrollo del cultivo. La calefacción por aire con combustión directa consumió un 21% menos de energía que el sistema por agua,  $324 \text{ MJ m}^{-2}$  y  $410 \text{ MJ m}^{-2}$ , respectivamente. Este resultado podría ser debido a una mayor pérdida por radiación del sistema por tuberías durante las fases iniciales del cultivo y al hecho de que el sistema por agua caliente es un sistema de combustión indirecto lo que reduce su rendimiento.

**Palabras clave:** calefacción, invernadero multitúnel.

**Title:** Greenhouse energy consumption in the Almería Region. Comparison of two heating systems

## Abstract

A comparative study of heating consumption of two different greenhouse heating systems were carried out in the Almería region, under a multi-span tunnel greenhouse with French bean crop in winter period. The systems were (i) a direct combustion air system and (ii) a heated pipe system. The ratio between energy consumption of the air heating and pipe heating system varied along the season in the range 0.50 to 1.0, depending on the set-point temperature and the stage of crop development. The air heating system consumed 21% less energy than the pipe heating system, during the heating season:  $324 \text{ MJ m}^{-2}$  to  $410 \text{ MJ m}^{-2}$ . This result may be ascribed (i) to the higher radiative losses of the heating pipes during the initial period of the crop cycle (low crop development) and (ii) to the fact that the heating pipe system released the combustion gases out of the greenhouse.

**Keywords:** heating system, multi-span tunnel greenhouse type

## 1. Introducción

En invernaderos de áreas subtropicales, como el litoral mediterráneo español, la información disponible sobre el uso de sistemas de calefacción es escasa e incompleta [1]. En el litoral de Almería los sistemas de calefacción de invernadero están siendo, lentamente, introducidos. En los invernaderos tipo *Parral*, predominantes en la zona [2]

se instalan, sobre todo, sistemas por aire por su menor coste y facilidad para adaptarse a la parcela cultivada, mientras, en los invernaderos industriales (*multitúnel*) los sistemas más habituales son los de calefacción por agua caliente.

El objetivo de este trabajo fue comparar los consumos de energía procedentes de dos sistemas de calefacción, aire caliente combustión directa y agua caliente por tubería, para un ciclo de cultivo de judía de invierno en invernadero multitúnel.

## 2. Material y métodos

Se utilizaron dos invernaderos tipo *multitúnel* de  $60 \times 40$  m<sup>2</sup> de ancho cada uno. El material de cerramiento fue un plástico de 200  $\mu$ m de espesor, con un coeficiente de transmisión para la longitud de onda larga de 0,17 y de 0,90 para la radiación visible. En cada invernadero se cultivó judía (*Phaseolus Vulgaris* L., cv. Donna), sembrada el 29 de noviembre de 1999, cuyo ciclo duró 140 DDS. En cada uno de los dos invernaderos se instaló un sistema de calefacción (Figura 1) diferente: en uno de ellos aire caliente ( $S_{\text{aire}}$ ) con combustión directa y en el otro un sistema de tubos metálicos con agua caliente ( $S_{\text{agua}}$ ). Se instalaron psicrómetros para medir la temperatura del aire exterior ( $t_e$ ) y del invernadero ( $t_i$ ). El régimen de temperaturas mínimas del aire aplicado a los dos invernaderos fue el mismo: 20 °C al inicio del ciclo, 16 °C a partir de 21 DDS, 14 °C a partir de 45 DDS y 12 °C a partir de 81 DDS.



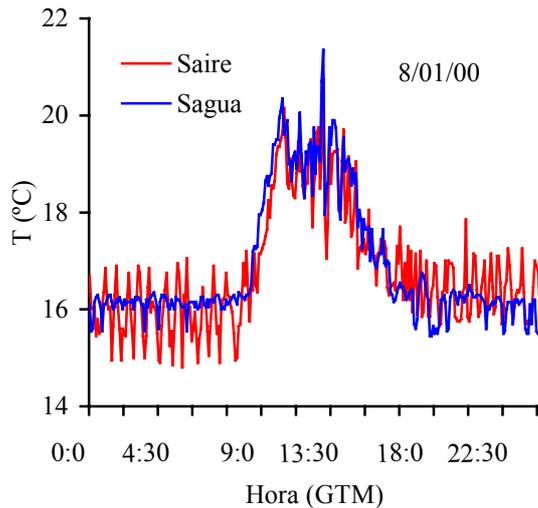
**Figura-1.** Sistemas de calefacción por tubería aérea con agua caliente (izquierda) y generador de aire con combustión directa (derecha), con cultivo de judía en invernadero *Multitúnel*.

## 3. Resultados y discusión

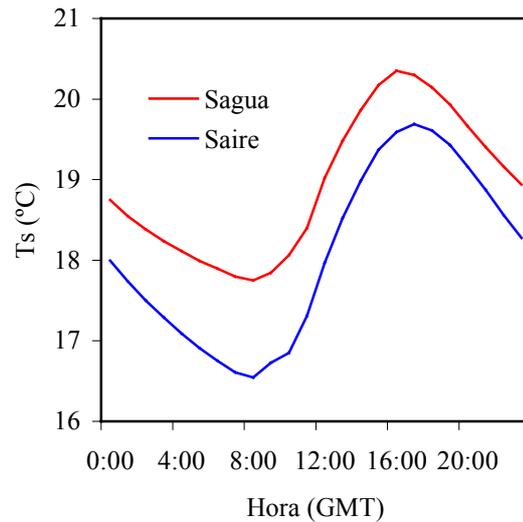
La temperatura del aire, a lo largo del ciclo de cultivo, fue similar en los dos invernaderos estudiados, con calefacción por aire y por agua. Los gradientes de temperatura del aire interior y exterior, para ambos sistemas de calefacción, fueron semejantes (Figura 4a). Al ser ambos invernaderos iguales (estructura, material de cubierta, cultivo, etc.) la diferencia entre consumos de combustible son imputables al sistema de calefacción (aire - agua).

La Figura 2 muestra la evolución de la temperatura del aire en los dos invernaderos durante un día típico de invierno (8/01/00). El sistema de calefacción por aire, con menor inercia térmica, presentó fluctuaciones de la temperatura del aire, próximas a 2 °C entre arranque y parada del sistema. El sistema de calefacción con agua caliente, al tener mayor inercia térmica presentó mayor estabilidad, con fluctuaciones inferiores a

0,5 °C. El nivel de fluctuación, va a depender además de los parámetros de consigna fijados en el controlador de clima (tiempo mínimo de encendido, máximo incremento de temperatura, mínimo incremento de temperatura, etc.) y del periodo en que funcione la calefacción. Las máquinas de aire (al no regular su llama) aportan siempre la máxima energía, lo que provoca que en periodos con bajos gradientes de temperatura se alcance rápidamente los límites de temperatura de consigna. Esto ocurre normalmente al anochecer, al amanecer o en periodos de temperatura suave.



**Figura 2.** Evolución de la temperatura del aire durante un día típico de invierno (8/01/00) en ambos sistemas de calefacción.



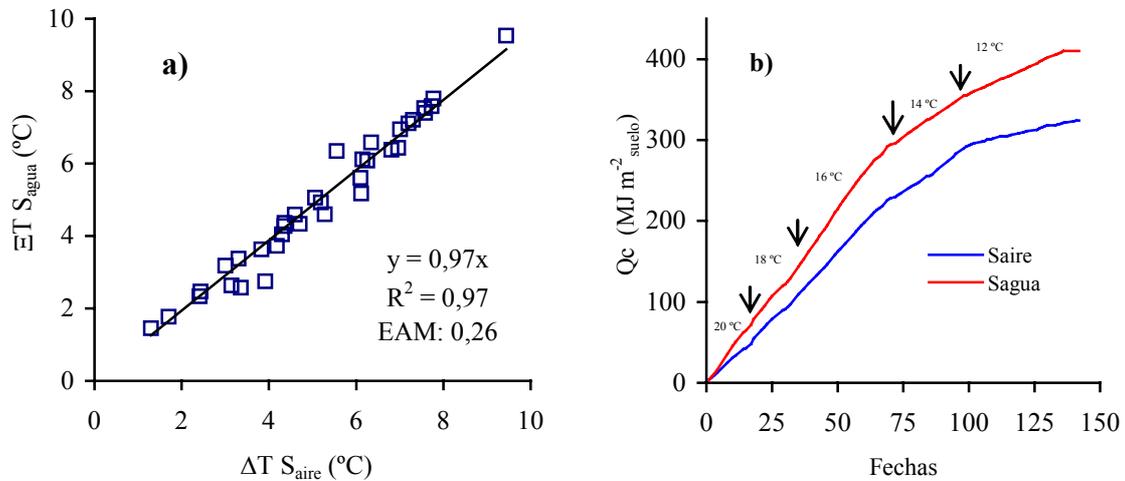
**Figura 3.** Temperatura media horaria del sustrato a 0,1 m de profundidad en Saire y Sagua durante el periodo de calefacción.

La temperatura media horaria del sustrato (Fig. 3), durante todo el periodo evaluado, fue superior en S<sub>agua</sub> que en S<sub>aire</sub>, encontrándose diferencias máximas absolutas de hasta 2 °C a primera hora de la mañana. Esto se justifica al encontrarse las tuberías de agua próximas a las bolsas de sustrato, lo que aumenta el intercambio radiativo entre ambos.

El sistema de calefacción por aire consumió un 21 % menos de energía que la calefacción por tubos con agua caliente ( $324 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$  vs.  $410 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ ), para todo el ciclo de cultivo. El mayor gasto del sistema de agua vino motivado, en gran medida, por ser un sistema de combustión indirecta, donde los gases de combustión son expulsados del invernadero junto con calor y cuyo rendimiento se puede estimar en un 80% frente a el sistema de aire utilizado de combustión directa donde el rendimiento teórico se asume del 100 %. El consumo diario de calefacción ( $Q_c$ ) varió a lo largo del ciclo de cultivo (Figura. 4b) en función del régimen de calor aplicado (desde 20 °C hasta 12 °C), de la época del año y desarrollo del cultivo. Se determinó el cociente entre el consumo de energía de la calefacción por aire ( $Q_{\text{aire}}$ ) y por agua ( $Q_{\text{agua}}$ ) para distintos periodos a lo largo del ciclo de cultivo, que varió entre 0,5 y 1, lo que sugiere una respuesta diferente de los sistemas de calefacción a las condiciones de clima exterior y del cultivo, puesto que los gradientes térmicos y el tipo de invernadero fueron iguales.

Al inicio del cultivo, el menor tamaño de la planta provocó que el aire generado por el ventilador de la máquina  $S_{\text{aire}}$  se distribuyese de forma eficiente al no encontrar obstáculos (líneas de cultivo). Sin embargo, para  $S_{\text{agua}}$ , un porte bajo del cultivo pudo provocar una mayor pérdida de energía por radiación, especialmente, en los primeros momentos cuando la temperatura de consigna era elevada (16-20 °C). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Teitel [3] que determinó que la mitad de la energía que aporta una tubería por agua caliente se transmite por radiación. Cuando el cultivo ocupó gran parte del volumen del invernadero y la temperatura de consigna fue moderada (14 °C), ambos sistemas equipararon sus consumos de energía. Si el sistema por aire en vez de combustión directa hubiese sido de combustión indirecta, tendríamos para esta situación (14 °C y cultivo desarrollado) una mayor eficiencia del sistema por agua, puesto que el sistema de aire con combustión indirecta puede tener un rendimiento entre 80 % y 85 % con respecto al aire con combustión directa.

Durante la última fase del ciclo de cultivo (12 °C), la relación entre  $Q_{\text{aire}}$  y  $Q_{\text{agua}}$  fue de 0,5. En ella, el consumo de energía de la calefacción fue bajo en ambos sistemas (Fig. 4b) ya que la temperatura mínima del aire exterior en muchas ocasiones superó a la de consigna del invernadero. Así, en el sistema por agua caliente gran parte del consumo se utilizó para mantener la temperatura del agua de la caldera (85-90 °C), aunque dentro del invernadero no se demandara energía por superar la temperatura del aire a la de consigna, no siendo éste el caso para el  $S_{\text{aire}}$ .



**Figura 4. (a)** Comparación entre los gradientes térmicos medios diarios ( $\Delta T = T_i - T_e$ ) de los dos sistemas de calefacción ( $\Delta T S_{\text{aire}}$ ,  $\Delta T S_{\text{agua}}$ ). Los puntos representan los valores calculados y la línea continua la relación entre  $\Delta T S_{\text{aire}}$  y  $\Delta T S_{\text{agua}}$ . **(b)** Evolución del consumo acumulado de energía de calefacción  $Q_c$  para un cultivo de judía en invierno y dos sistemas de calefacción  $S_{\text{aire}}$  y  $S_{\text{agua}}$ , en invernadero *Multitúnel*. Las flechas indican los cambios de la temperatura de consigna de calefacción a lo largo del ciclo de cultivo.

#### 4. Conclusiones

- El consumo de energía en un ciclo de judía de invierno para invernadero Multitúnel fue un 21 % inferior en el sistema de calefacción por generadores de aire con combustión directa que en el sistema de calefacción por tubería aérea con agua.

- Las mayores diferencias entre sistemas de calefacción, aire combustión directa y agua por tubería, se produjeron al inicio del ciclo de cultivo cuando la temperatura de consigna era elevada (18-20 °C) y el cultivo estaba poco desarrollado.

- El sistema por agua caliente presentó una mayor uniformidad de la temperatura del aire frente al sistema por aire caliente.

## **5. Bibliografía**

[1] Baille A., 2000. Trends in greenhouse technology for improved climate control in mild winter climates. ISHS Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates:161-167.

[2] Pérez Parra J., López J.C., Fernández M. 2000. La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense. La agricultura mediterránea en el siglo XXI. Colección estudios socioeconómicos. Instituto de estudios de Cajamar: 262-282.

[3] Teitel M.and Tanny J.1998. Radiative heating transfer from heating tubes in greenhouse. J. Agric. Engeng Res.69, 259-273.