



## ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN EN INVERNADERO CON CULTIVO DE PIMIENTO

Juan C. Gázquez  
Juan C. López  
Javier Cabrera  
David Meca  
Jerónimo Pérez-Parra  
Esteban Baeza

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

V CONGRESO IBÉRICO DE CIENCIAS  
HORTÍCOLAS; IV CONGRESO IBEROAMERICANO  
DE CIENCIAS HORTÍCOLAS  
OPORTO 22 a 27 de mayo de 2005

## **Estrategias de calefacción en invernadero con cultivo de pimiento**

Juan C. Gázquez; Juan C. López; Francisco J. Cabrera; David E. Meca; Jerónimo Pérez-Parra; Esteban Baeza

E.E. de Cajamar 'Las Palmerillas'  
Autovía del Mediterráneo km 416  
04710 El Ejido-Almería (España)  
[jcgazquez@cajamar.es](mailto:jcgazquez@cajamar.es)

### **Resumen**

La producción agrícola de invernadero en Almería se caracteriza por el empleo de estructuras sencillas y de bajo coste con un limitado control climático. En cultivos que se desarrollan parcial o totalmente durante el invierno, las bajas temperaturas del aire limitan la productividad, y sobre todo la calidad de los cultivos. La instalación de sistemas de calefacción en invernadero puede ser un medio para aumentar la productividad y/o la calidad de los cultivos hortícolas en invernadero.

Este trabajo estudió la respuesta productiva de un cultivo de pimiento a distintas estrategias de calefacción por aire caliente. Para ello, se caracterizaron y analizaron bajo distintos tratamientos térmicos: (i) las condiciones climáticas y los consumos de energía del cultivo de pimiento en invernadero; (ii) el crecimiento, la productividad y calidad del cultivo de pimiento; y (iii) la rentabilidad económica del cultivo de pimiento.

La producción precoz, total y comercial aumentó con el uso de la calefacción, siendo la producción de frutos de destrío menor. No hubo diferencias significativas en productividad total y comercial entre los tratamientos con calefacción, aunque el cultivo de pimiento con mayor régimen térmico ( $T_{18}$ ) tuvo mayor producción de frutos de primera categoría y de frutos rojos que el cultivo calefactado con una estrategia de ahorro energético ( $T_{18-12}$ ). El cultivo calefactado con una estrategia de ahorro de energía ( $T_{18-12}$ ) tuvo un consumo de combustible ( $6 \text{ kg m}^{-2}$ ) mucho menor que el cultivo calefactado a  $18 \text{ °C}$  ( $18 \text{ kg m}^{-2}$ ), no afectando significativamente a la producción comercial.

La evaluación económica fue negativa para los tratamientos de calefacción con respecto al cultivo sin calefacción ( $T_c$ ). El empleo futuro de sistemas de calefacción en pimiento dependerá del desarrollo de nuevas estrategias de ahorro energético que aumenten la productividad y calidad de la producción invernal o de criterios logísticos de las empresas.

**Palabras clave:** temperatura, aire caliente, enarenado, Almería.

### **Abstract**

**Title:** Heating strategies in a greenhouse pepper crop.

The agricultural production in the greenhouses of Almería is characterized by the use of simple low cost structures with a limited climate control. For those crops which develop totally or partially during the winter, the low ambient temperatures limit their productivity and specially their quality. The implementation of greenhouse heating systems can be a method to increase the yield and/or quality of the different horticultural greenhouse crops.

The present work studies the productive response of a greenhouse pepper crop under different air heating strategies. Different thermal treatments were analysed characterising: (i) climate conditions and energy consumptions inside the greenhouse (ii) growth, productivity and quality of a greenhouse pepper crop (iii) economic profitability of the pepper crop.

The use of the air heating system increased the early, total and commercial yield, decreasing also the non commercial yield. Non statistically significant differences were found between heating treatments, although the pepper crop grown under a higher thermal regime ( $T_{18}$ ) showed a higher number of red fruits and of first category than the crop grown under a energy saving strategy ( $T_{18-12}$ ). However, the fuel consumption of the energy saving treatment was notably lower ( $6 \text{ kg m}^{-2}$ ) than in the  $18^\circ\text{C}$  treatment ( $18 \text{ kg m}^{-2}$ ), not affecting significantly the final commercial production.

The economic evaluation was negative for the heating treatments in relation to the unheated greenhouse ( $T_c$  control). The future use of heating systems in greenhouse pepper crops will rely on the development of new energy saving strategies which increase the productivity and quality of winter production or on logistic criteria of the companies.

**Keywords:** temperature, air heating, sand mulch, Almería.

## **Introducción**

El pimiento es el primer cultivo hortícola en invernadero de Almería (Consejería de Agricultura y Pesca, 2003) en superficie cultivada (8.600 ha) y valor de la producción (590 millones de euros). El pimiento es un cultivo con elevados requerimientos térmicos, con una temperatura óptima nocturna de  $18-20^\circ\text{C}$  (Bakker y Van Uffelen, 1988; Wien, 1997; Navas y col., 1997). En el litoral de Almería, la temperatura media de las mínimas del aire exterior oscila entre  $7$  y  $9^\circ\text{C}$  en los meses de invierno (Montero y col., 1985; Puerto, 2001). Y durante la noche los valores de temperatura del aire dentro del invernadero suelen ser similares al aire exterior. Ello puede explicar, al menos parcialmente, la menor productividad y calidad del pimiento recolectado en invierno y principios de primavera en invernadero y los mayores precios del mismo.

Los sistemas de calefacción en invernadero se están introduciendo lentamente en el litoral de Almería y uno de sus objetivos fundamentales es aumentar la productividad y calidad de los frutos recolectados en invierno. La información sobre el uso en la zona de sistemas de climatización, en general, y de sistemas de calefacción, en particular, es escasa (Hernández, 1998). Al igual que ha ocurrido con anterioridad con otras tecnologías, los sistemas de calefacción han sido diseñados y optimizados para otras condiciones de cultivo (climáticas, agronómicas y estructurales) distintas a las del litoral

mediterráneo español. Por ello, en primer lugar, es necesario estudiar localmente el comportamiento y el manejo de los sistemas de calefacción, para adaptarlos a nuestros sistemas de cultivo (Hernández, 1998).

Estudios previos sobre el uso de la calefacción en invernaderos del litoral de Almería han encontrado respuestas variables según cultivos y ciclos (López y col., 2000). Por ejemplo, se ha observado una buena respuesta a la calefacción en ciclos tardíos o invernales de judía y pepino (Serrano, 2002; Arco, 2003), pero en cambio en pimiento la información experimental sobre el uso de la calefacción es muy escasa.

### Material y métodos

Durante la campaña 2001/2002, se llevó a cabo el ensayo en 3 invernaderos tipo parral “INACRAL” (asimétricos), con estructura de tubos galvanizados, ventilación pasiva, de 432 m<sup>2</sup> de superficie total. Se utilizó como cerramiento un plástico tricapa incoloro difuso. El material vegetal utilizado fue pimiento tipo “california”, cv. “Cornago”, siendo la fecha de transplante 13/08/2001, con una densidad de 3 plantas m<sup>-2</sup> y la poda a 2 tallos. El medio de cultivo que se utilizó fue el enarenado típico almeriense. Los tratamientos ensayados durante las dos fases del cultivo fueron:

Tratamiento	Temperatura mínima 1ª fase (0-146 ddt)	Temperatura mínima 2ª fase (147-290 ddt)
T <sub>18</sub>	18 °C	18 °C
T <sub>18-12</sub>	Salto térmico nocturno (18 °C de día hasta las 00 de la noche y después 12 °C hasta el amanecer)	12 °C
T <sub>c</sub>	Sin Calefacción	Sin Calefacción

Para el análisis de los datos de producción se utilizó un diseño unifactorial, siendo el factor el régimen térmico, con tres niveles que correspondieron a los tres tratamientos térmicos y con cuatro repeticiones por tratamiento. El sistema de calefacción fue por aire caliente de combustión indirecta y el combustible utilizado fue propano. Se midieron las condiciones climáticas dentro de los invernaderos de pimiento y en el exterior.

#### Determinaciones

- Producción: se distinguió entre producción total, comercial y por categorías. Para ello se tomaron 4 repeticiones por tratamiento ubicadas en la parte sur del invernadero. Cada parcela estaba formada por 12 plantas, ocupando una superficie de 4 m<sup>2</sup>.
- Consumo energético: se determinó diariamente mediante contadores volumétricos el consumo de gas propano en los invernaderos con calefacción.
- Evaluación económica: para cada tratamiento térmico se han determinado los ingresos brutos, calculados con los precios medios ponderados por semanas de la campaña 2001/2002 y para la media de las diez últimas campañas (Revista Frutas y Hortalizas). Además, en la campaña 20001/2002 se han considerado los precios distinguiendo entre categorías (datos de varias cooperativas locales, comunicación personal). Los costes de calefacción han incluido, además de los consumos de energía, el coste de los equipos de

calefacción y de su instalación, la cuota de alquiler del tanque, y un gradiente térmico ( $\Delta T$ ) de 14 °C para  $T_{18}$  y de 10 °C para  $T_{18-12}$ .

## **Resultados y discusión**

### *Temperatura del aire*

El valor medio durante el ciclo de cultivo de la temperatura media del aire fue de 19,8 °C para  $T_{18}$ , 18 °C para  $T_{18-12}$  y 16,7 °C para el tratamiento control ( $T_c$ ), mientras que en el exterior ( $T_e$ ) fue de 16,2 °C (Tabla 1). Las diferencias de temperatura ocurrieron, sobre todo, durante el periodo nocturno, mientras que los valores medios de la temperatura media diurna fueron similares para todos los tratamientos y ligeramente mayores que en el exterior. Las pequeñas diferencias de temperatura media diaria entre el tratamiento  $T_c$  y el aire exterior se debieron a que las temperaturas nocturnas del tratamiento  $T_c$  fueron ligeramente inferiores a las del aire exterior (inversión térmica) y compensaron, parcialmente, las mayores temperaturas diurnas de  $T_c$ .

La integral térmica para los distintos tratamientos, considerando una temperatura base para el pimiento de 10 °C, fue 2.177 °C día para  $T_c$  y 2.979 °C día del tratamiento  $T_{18}$ . Mientras que la estrategia de calefacción con ahorro energético utilizada ( $T_{18-12}$ ) registró un valor intermedios, de 2.502 °C día.

### *Producción*

La productividad total de los dos cultivos calefactados fue similar ( $\approx 16 \text{ kg m}^{-2}$ ) y significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) a la del tratamiento control ( $14,5 \text{ kg m}^{-2}$ ). La misma respuesta se encontró en la productividad comercial (Tabla 2), aunque hubo pequeñas diferencias, estadísticamente no significativas, entre el tratamiento  $T_{18}$  ( $13,8 \text{ kg m}^{-2}$ ) y  $T_{18-12}$  ( $12,7 \text{ kg m}^{-2}$ ). Las diferencias en producción comercial se debieron a diferencias en el número de frutos comerciales. Cuando la producción comercial se clasificó por categorías si se encontraron diferencias significativas entre los dos cultivos con calefacción. En frutos de categoría I, el tratamiento  $T_{18}$  tuvo una productividad ( $9,1 \text{ kg m}^{-2}$ ) estadísticamente mayor que el  $T_{18-12}$  ( $6,5 \text{ kg m}^{-2}$ ) y que  $T_c$  ( $6,9 \text{ kg m}^{-2}$ ). En cambio, en frutos de Categoría II, el tratamiento  $T_{18-12}$  tuvo una productividad ( $6,1 \text{ kg m}^{-2}$ ) estadísticamente mayor que el tratamiento  $T_{18}$  ( $4,7 \text{ kg m}^{-2}$ ) y que  $T_c$  ( $3,6 \text{ kg m}^{-2}$ ). Finalmente, la productividad no comercial o destrio del tratamiento  $T_{18}$  ( $2,4 \text{ kg m}^{-2}$ ) fue estadísticamente menor que la de  $T_{18-12}$  ( $3,7 \text{ kg m}^{-2}$ ) y la de  $T_c$  ( $4,0 \text{ kg m}^{-2}$ ).

### *Evaluación económica*

El invernadero calefactado a una temperatura mínima de 18 °C tuvo un consumo total de  $18 \text{ kg m}^{-2}$  de propano, mientras que el invernadero, donde se realizó la estrategia de ahorro de energía ( $T_{18-12}$ ), tuvo un consumo menor de  $6 \text{ kg m}^{-2}$ .

La tabla 3 muestra los datos de la evaluación económica, donde el tratamiento  $T_c$  tuvo ingresos ligeramente inferiores ( $< 1 \text{ € m}^{-2}$ ) a los de los tratamientos con calefacción ( $T_{18}$  y  $T_{18-12}$ ), por lo que los gastos derivados de la calefacción hacen que el beneficio final sea mayor para  $T_c$ , seguido de  $T_{18-12}$  y llegándose a valores negativos de rentabilidad para  $T_{18}$ . Los resultados obtenidos mostraron que el cultivo de pimiento con calefacción es difícil de justificar económicamente, y ni siquiera, distinguiendo entre

calidades se consigue rentabilizar la calefacción (Tabla 3), coincidiendo con otras experiencias en áreas mediterráneas (Medany y col., 1991).

### **Conclusiones**

Los cultivos con calefacción tuvieron mayor producción total y comercial que el cultivo sin calefacción. La producción precoz fue mayor en los cultivos con calefacción que en el cultivo sin calefacción, aunque las diferencias sólo fueron significativas en el cultivo de pimiento calefactado bajo un mayor régimen térmico ( $T_{18}$ ).

El cultivo calefactado con una estrategia de ahorro de energía ( $T_{18-12}$ ) tuvo un consumo de combustible ( $6 \text{ kg m}^{-2}$ ) mucho menor que el cultivo calefactado a  $18 \text{ °C}$  ( $18 \text{ kg m}^{-2}$ ).

La evaluación económica fue negativa para los tratamientos de calefacción con respecto al cultivo sin calefacción. El empleo futuro de sistemas de calefacción en pimiento dependerá del desarrollo de nuevas estrategias de ahorro energético que aumenten la productividad y calidad de la producción invernadero reduciendo los consumos de combustible o de criterios logísticos de las empresas.

### **Referencias**

- Arco, J.M. 2003. Respuesta de un cultivo de pepino tipo Almería a distintos tratamientos de calefacción por aire caliente. Proyecto fin de carrera. 111 pp. Universidad de Almería.
- Bakker, J.C.; Van Uffelen, J.A.M. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of sweet pepper. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 36: 201-208.
- Consejería de Agricultura y Pesca. 2003. Memoria Resumen del año 2002. Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca de Almería.
- Hernández J.; Morales M.I.; Castilla N.; Escobar I. 1998. Comportamiento del acolchado con plásticos blancos sobre enarenado en el cultivo de judía bajo invernadero. *Actas de Horticultura* vol. 21: 57-61.
- López, J.C. 2000. Sistemas de calefacción. En: "Calefacción de Invernaderos en el Sudeste Español. Resultados Experimentales para cultivos de pepino y judía". Eds: Caja Rural de Almería y Junta de Andalucía.
- Medany, M.A.; Khalifa, M.H.; Abou-Hadid, A.F.; El-Beltagy, A.S. 1991. Studies on the heat requirement of sweet pepper plants grown under plastic houses in Egypt. *Acta Horticulturae*. Wageningen: International Society for Horticultural Science. May 1991. (287) pp. 255-260.
- Montero, J.I.; Castilla, N.; Gutiérrez De Ravé, E.; Bretones F. 1985. Climate under plastic in the Almería area. *Acta Horticulturae*, 170: 227-234.
- Navas, J.A.; López, M.; Ortiz, E.; Gil, C.; Lirola, J.; González, A.; Aguilar, M. 1997. Cultivos Hortícolas 1: Técnicas de Cultivo. En: "El cultivo del pimiento", pp.75-81. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Puerto, H.M. 2001. Respuesta productiva de un cultivo de pepino holandés bajo invernadero a la calefacción por aire caliente. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, pp. 175.

Serrano, Y. 2002. Calefacción por aire caliente en un cultivo: judía de enrame plana en invernadero y suelo enarenado. Proyecto fin de carrera. 109 pp. Universidad de Almería.

Wien, H.C. 1997. Transplanting. In: The Physiology of Vegetable Crops. H.C. Wien (Ed.) Editorial CAB International. 37-69 pp.

**Tabla 1. Temperatura (°C) del aire del invernadero y del exterior. Valores medios de la temperatura diaria, diurna y nocturna, para todo el ciclo de cultivo.**

	T <sub>18</sub>	T <sub>18-12</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>e</sub>
Diaria	19,8	18,0	16,7	16,2
Diurna	21,6	21,4	20,3	18,4
Nocturna	18,0	14,8	13,5	14,1

**Tabla 2. Producción total, comercial, no comercial y por categorías acumulada (kg m<sup>-2</sup>) de pimiento bajo tres tratamientos térmicos (T<sub>18</sub>, T<sub>18-12</sub> y T<sub>c</sub>).**

Tratamientos	Total		Comercial						No Comercial	
			Comercial		Cat. I		Cat. II			
T <sub>18</sub>	16,2	a	13,8	a	9,1	a	4,7	b	2,4	b
T <sub>18-12</sub>	16,4	a	12,7	a	6,5	b	6,2	a	3,7	a
T <sub>c</sub>	14,5	b	10,5	b	6,9	b	3,6	b	4,0	a

**Tabla 3. Evaluación económica de un cultivo de pimiento bajo tres tratamientos de calefacción (T<sub>18</sub>, T<sub>18-12</sub> y T<sub>c</sub>) en un invernadero de 432 m<sup>2</sup>.**

Conceptos	T <sub>c</sub>	T <sub>18-12</sub>	T <sub>18</sub>
Consumo combustible (kg m <sup>-2</sup> )	0,0	6,0	18,0
Coste de las máquinas + instalación anual (€ m <sup>-2</sup> )**	0,0	0,3	0,4
Cuota de alquiler anual del tanque de combustible (€ m <sup>-2</sup> )**	0,0	0,2	0,2
Gasto de combustible (€ m <sup>-2</sup> ), precio medio del propano 0,6 € kg <sup>-1</sup>	0,0	3,6	10,8
Ingresos brutos ponderados Campaña 01-02 (€ m <sup>-2</sup> )***	8,7	9,0	9,5
Ingresos brutos ponderados. Precios medios 10 últimas campañas (€ m <sup>-2</sup> )***	8,9	9,2	9,7
Ingresos brutos ponderados. Precios campaña 01/02 (€ m <sup>-2</sup> )****	10,6	11,9	14,0
<b>Diferencia (€ m<sup>-2</sup>) = INGRESOS (precios campaña 01/02) – GASTOS<sub>Calefacción</sub></b>	<b>8,7</b>	<b>5,0</b>	<b>-1,8</b>
<b>Diferencia (€ m<sup>-2</sup>) = INGRESOS (media 10 últimas Campañas) – GASTOS<sub>calefacción</sub></b>	<b>8,7</b>	<b>5,2</b>	<b>-1,7</b>
<b>Diferencia (€ m<sup>-2</sup>) = INGRESOS**** (precios campaña 01/02) – GASTOS<sub>calefacción</sub></b>	<b>10,6</b>	<b>7,8</b>	<b>2,6</b>

\* Para extrapolar el consumo de combustible a un invernadero de 1 hectárea se multiplica por 0,8: De igual forma, para extrapolar la producción de esa superficie a la de 1 ha se multiplica por 0,95 (López, 2000).

\*\* Para una instalación de una ha y un salto térmico de 14 °C para el T<sub>18</sub> y de 10 °C para T<sub>18-12</sub>, se ha supuesto un plazo de amortización aproximado de 10 años.

\*\*\* Los datos utilizados para evaluar los ingresos se obtienen a partir de los precios diarios publicados en la revista Frutas y Hortalizas. Estos precios no distinguen entre calidades de fruto (categoría I y II).

\*\*\*\* Datos medios del precio medio California rojo y verde por categorías de la campaña 01/02, facilitados por varias cooperativas de la zona.