

## Influencia de diferentes sistemas de calefacción sobre el desarrollo, producción y calidad de un cultivo de tomate en invernadero

P. Marín, D.L. Valera\*, F.D. Molina-Aiz, A. López, L.J. Belmonte y M.A. Moreno

Centro de Investigación CIAIMBITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento s/n. 04120 Almería (España)

### Resumen

Debido a la relación de la temperatura en todos los aspectos del desarrollo de las plantas en el invernadero, el uso de calefacción incluso en países con clima templado, puede implicar un aumento en la producción y en la eficiencia del invernadero. Además, el tipo de invernadero está relacionado con su microclima interior y, en consecuencia, con la calidad y producción del cultivo. El objetivo de este ensayo ha sido analizar y comparar el efecto sobre el desarrollo de la planta, la calidad de los frutos y la producción total de un cultivo de tomate en invernadero, bajo dos sistemas diferentes de calefacción y ventilación natural, y dos tipos de invernaderos, además de determinar los consumos de combustible y eléctricos de cada uno. Los ensayos se han realizado en tres invernaderos multitúnel y uno tipo Almería, durante los ciclos de otoño-invierno en dos campañas agrícolas. Sólo en campañas en las que el cultivo está expuesto a temperaturas por debajo de 8 °C durante largos periodos de tiempo se observan diferencias en la producción, siendo los resultados favorables a los invernaderos con calefacción. El coste del combustible de los sistemas de calefacción no ha sido compensado con los incrementos productivos. En cuanto a los tipos de invernaderos estudiados, han existido diferencias en la calidad de los frutos y la producción final, obteniéndose una mejor respuesta de estos parámetros en los invernaderos tipo multitúnel.

**Palabras clave:** Invernadero, control climático, cultivos.

### Abstract

#### **Influence of different heating systems on the development, production and quality of a tomato crop**

Due to the influence of temperature on all aspects of greenhouse plant development, heating systems can be used to increase both production and greenhouse efficiency, even in mild climates. In addition, the type of greenhouse has an impact on the microclimate inside, and thus on crop quality and yield. The aim of the experiment was to analyse and compare the effect of two heating systems and natural ventilation in two different types of greenhouses on plant development, fruit quality and total yield, taking into account the fuel and electricity consumption. The experiments were carried out in three multi-tunnel greenhouses and one Almería-type greenhouse over the autumn-winter period in two agricultural seasons. Differences in yield were only campaigns in which the crop is exposed to temperatures below 8°C for long periods, showing a better performance of heated greenhouses. However, the fuel costs of the heating systems were not offset by the increase in yield. Differences in both fruit quality and final yield were observed depending on the type of greenhouse, showing the best results in multi-tunnel greenhouses.

**Key words:** Greenhouse, climate control, crops.

---

\* Autor para correspondencia: dvalera@ual.es

<https://doi.org/10.12706/itea.2016.023>

## Introducción

Las tasas de inicio del desarrollo de las hojas y de los frutos disminuyen linealmente con la reducción de la temperatura, aunque estas tasas pueden ser diferentes según el tipo de cultivo, su respuesta a la temperatura es la misma. En el caso del tomate, que es el principal cultivo en los invernaderos de Almería, ya que supone un 37,7% del total de los cultivos (Valera et al., 2016), la temperatura óptima durante la noche es 13-16°C y durante el día 22-26°C, encontrándose la temperatura mínima biológica entre 8 y 10°C, y la temperatura mínima letal entre -2 y 0°C (Tesi, 2001).

A temperaturas sub-óptimas, la fructificación se reduce como consecuencia de una peor calidad del polen (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005). La sensibilidad a la temperatura no es igual durante todo el período de crecimiento del fruto. Las temperaturas más altas durante las primeras semanas acortan el tiempo para la madurez (De Koning, 1994), sin embargo, hay un período durante el cual una mayor temperatura apenas aumenta la tasa de desarrollo del tomate (De Koning, 1994; Adams et al., 2001). La temperatura también afecta a la calidad de la fruta, ya que tiene una influencia directa sobre el metabolismo y, por tanto, afecta a la estructura celular y a otros componentes que determinan la calidad, tales como color, textura, tamaño y propiedades organolépticas (Dorais et al., 2001). El rendimiento total en una temporada completa podría ser igual en temperaturas más bajas, pero los precios de tomate son más altos a principios de la temporada (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005).

La distribución biogeográfica original de las especies que se cultivan en el sudeste español, protegidas bajo invernadero de plástico, tiene lugar en latitudes subtropicales, generalmente asociadas a regímenes térmicos menos variables y temperaturas mínimas más elevadas, superiores a 12°C, límite conside-

rado como el mínimo por debajo del cual estas especies ralentizan el crecimiento y presentan síntomas de deterioro (López et al., 2000). Verlodt (1990) establece el umbral de las temperaturas mínimas nocturnas entre 15 y 18,5°C, por debajo de las que se necesitaría incorporación de calor para un adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos (López et al., 2000). En la zona mediterránea, las temperaturas no suelen alcanzar valores mínimos extremos para los cultivos, aunque es común que durante las noches invernales desciendan por debajo de los 10°C. Por esto, la calefacción en los invernaderos es esencial incluso en países con clima templado, con el fin de maximizar la producción de cultivos en términos de cantidad y calidad, y por lo tanto para aumentar la eficiencia global del invernadero (Kittas et al., 2011).

A pesar de ello, según Valera et al. (2016), la implantación de sistemas de calefacción es aún muy minoritaria en los invernaderos de Almería (España), siendo solo del 8,4% del total de los invernaderos. El sistema más difundido en la provincia es la calefacción por combustión indirecta (3,3% del total de los invernaderos de la provincia de Almería), los sistemas de calefacción mediante tuberías de agua caliente sólo se encuentran en un 0,5% del total de los invernaderos de la provincia de Almería (Valera et al., 2016).

Según el tipo de calefacción la distribución del calor es más o menos uniforme; en los sistemas por convección y radiación es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos (López et al., 2000). Con la calefacción por tuberías de agua caliente, las hojas (especialmente las que se enfrentan a los tubos) están generalmente más calientes que el aire, en contraste con la calefacción de aire, en la que las hojas están generalmente más frías que el aire (Teitel et al., 1999; Tadj et al., 2010). Este hecho provoca que la calefacción de aire sea un mé-

todo en el que existan mayores posibilidades de desarrollar enfermedades de hongos debido a una mayor incidencia de la condensación del vapor (Teitel *et al.*, 1999). El uso combinado de tubos de calefacción y calentadores de aire mejora la actividad de la planta y reduce la tasa de condensación. Este método de calentamiento conduce a un aumento en el consumo de energía de hasta el 19%, además de crear una distribución del clima más heterogénea en comparación con el caso en el que sólo se utilizan tubos de calefacción (Bartzanas *et al.*, 2005; Tadj *et al.*, 2010). Una estrategia de ahorro energético en invernaderos mediterráneos con calefacción de tipo radiante (por agua caliente) en climas templados, es apagar o bajar la temperatura de consigna de la calefacción en la madrugada (Perdigones *et al.*, 2006). Según Perdigones *et al.* (2006), en invernaderos mediterráneos, el uso de dos o tres grupos de generadores de aire caliente también mejora la eficiencia térmica del invernadero (4% a 10% de ahorro de energía), y da lugar a un menor número de variaciones de temperatura, en comparación con el uso de un único grupo para una misma potencia final. Además, se produce un exceso de calor en la primera parte de la noche que provoca un desperdicio de energía y un método de ahorro sería el control de paso de los calentadores. Las simulaciones muestran que este tipo de control siempre mejora el rendimiento térmico de los invernaderos. Debido al costo relativamente alto y la disponibilidad incierta de los combustibles fósiles, se genera especial atención en nuevas fuentes de energía y en energías renovables, como medio alternativo para la calefacción de los invernaderos (Bascetincelik *et al.*, 1999).

Según Valera *et al.* (2016), en la provincia de Almería los invernaderos "tipo Almería" suponen el 94,3% del total. Estos invernaderos son instalaciones artesanales de bajo coste que se caracterizan porque gran parte de

sus elementos estructurales son flexibles y están formados por alambres individuales o trenzas, sometidos a una tensión inicial durante el proceso de construcción. El material de cerramiento utilizado es polietileno de baja densidad, que se sitúa entre dos mallas de alambre. Otro tipo de invernaderos son los invernaderos multitúnel que están siendo adoptados en un continuo y mantenido aumento, de forma que en 1997 un 0,6% de los invernaderos eran de este tipo y en la actualidad ya suponen un 5,2% del total de los invernaderos de la provincia.

En los invernaderos mediterráneos los factores que tienen mayor importancia en el control climático son la superficie y el tipo de aperturas de ventilación utilizadas (Wacquand, 2000), los cuales son diferentes según el tipo de estructura. Actualmente, en la provincia de Almería, se construyen derivaciones mejoradas de los invernaderos tradicionales, con mayor volumen interior, más herméticos, con inclinación a dos aguas de la cubierta que permiten la instalación de ventilación cenital y otras mejoras (Valera *et al.*, 2016), no obstante, en periodos fríos suelen tener exceso de humedad por goteo de la condensación y a veces por entrada de lluvia y como consecuencia de este y otros factores las producciones son comparativamente bajas y la calidad depende mucho de las condiciones meteorológicas (Montero, 2012). La superficie cubierta con invernaderos de tipo multitúnel continúa en ascenso, con más volumen interior, incrementando la superficie de ventilación, más herméticos y por ello, con mayores posibilidades de incorporar sistemas activos de control climático, aunque también tienen problemas de condensación y un coste más elevado entre otros. No obstante, cada mejora tecnológica debe justificarse con un incremento previsto de la rentabilidad de la explotación, donde juega también un papel central el cultivo y la comercialización (Valera *et al.*, 2016).

El objetivo de este ensayo ha sido analizar y comparar el efecto sobre el desarrollo de la planta, la calidad de los frutos y la producción total de un cultivo de tomate en invernadero bajo dos sistemas diferentes de calefacción, además de determinar los consumos de combustible y de energía eléctrica de cada uno.

### Material y métodos

Los invernaderos se encuentran situados en el Campo de Prácticas de la Universidad de Almería "Catedrático Eduardo Fernández" de la Fundación UAL-ANECOOP, siendo su situación: Longitud: 2° 17' O, Latitud: 36° 51' N y Altitud: 90 m. Los ensayos se realizaron en cuatro invernaderos, tres de tipo multitúnel y uno "tipo Almería". Las bandas laterales de los tres invernaderos multitúnel (invernaderos 1, 2 y 3) están cubiertas con láminas onduladas de policarbonato de 2 mm de espesor. Las bandas laterales del invernadero tipo Almería (invernadero 4), además de la cubierta de todos ellos, disponen de film tricapa, de tres campañas, de 800 galgas, térmico y traslúcido con una alta difusión de luz, evitando el efecto sombra de los cultivos. El plástico de todos los

invernaderos se cambió en agosto de 2011. Podemos observar las características principales de estos invernaderos en la Tabla 1.

El invernadero 1 dispone de un sistema de calefacción por aire mientras que en el invernadero 2 el sistema de calefacción es por agua. Se utilizaron dos generadores de aire caliente por combustión indirecta GP80 (Munters Spain S.A.) de 99 kW de potencia nominal con un rendimiento térmico del 88,5% y un caudal de aire de 5800 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Los calefactores funcionan con quemadores de gasoil RG2 Gulliver (Riello S.p.A.) con caudal variable de 4 a 10 kg·h<sup>-1</sup> (de 47 a 119 kW). El sistema de calefacción por agua está formado por una caldera de biomasa BIOSELECT350 (LASIAN Tecnología del Calor S.L.) con una potencia de 350 kW y un rendimiento del 91%. El combustible utilizado fue hueso de aceituna. Ambos sistemas de calefacción funcionaron durante la noche con una temperatura de consigna en el interior de los invernaderos de 8°C. Durante la campaña 2011-12 la calefacción funcionó desde el 10 de noviembre de 2011 hasta el 1 de marzo de 2012. Durante la campaña 2012-13 la calefacción funcionó desde el 27 de noviembre de 2012 hasta el 18 de febrero de 2013.

Tabla 1. Características principales de los invernaderos  
*Table 1. Main characteristics of greenhouses*

Parcela	1-E	1-O	2-E	2-O	3-E	3-O	4
Invernadero	1	1	2	2	3	3	4
Sector	Este	Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste	–
Ancho (m)	24	24	24	24	18	18	47
Longitud (m)	25	20	25	20	25	20	45
Altura cenital (m)	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	4,7
Orientación	E-O	E-O	E-O	E-O	E-O	E-O	E-O
Superficie de ventilación cenital (%)	10,9	10,6	10,9	10,6	9,7	9,4	4
Superficie de ventilación lateral (%)	–	–	7,9	7,7	9,9	9,5	12,9
Superficie de ventilación total (%)	10,9	10,6	18,8	18,3	19,6	18,9	16,8

Cada invernadero multitúnel se encuentra dividido transversalmente en dos partes, constituyendo cada mitad de invernadero una parcela de los ensayos, quedando todos ellos orientados este-oeste, según el sentido de las cumbreiras. En las ventanas laterales y cenitales se dispusieron mallas anti-insectos de 10×20 hilos/cm<sup>2</sup> con una porosidad del 35,0% en las mitades este de los invernaderos, y de 13×30 hilos/cm<sup>2</sup> con una porosidad del 26,3% en las mitades oeste.

El cultivar empleado en la campaña 2011-12 fue *Solanum lycopersicum* L. cv. Ventero, con una densidad de plantación de 1 planta/m<sup>2</sup>. El ciclo de este cultivo fue anual (de agosto de 2011 a junio de 2012), se trasplantó el 24 de agosto de 2011, se inició la recolección el 23 de noviembre de 2011 la cual se finalizó el 10 de junio de 2012. El cultivar empleado en la campaña 2012-13 fue *Solanum lycopersicum* L. cv. Marilú, con una densidad de plantación de 1,82 plantas/m<sup>2</sup>. El ciclo de este cultivo fue corto (de agosto de 2012 a febrero de 2013), se trasplantó el 29 de agosto de 2012, se inició la recolección el 23 de noviembre de 2012 la cual se finalizó el 18 de febrero de 2013. Se trasplantó en sacos de cultivo de 30×30 cm, el tipo de sustrato fue mezcla de fibra de coco y turba (pH: 6,3; CE: 0,9). Las labores culturales asociadas al manejo del cultivo en el transcurso de su desarrollo vegetativo y cosecha tuvieron como propósito principal conseguir los máximos rendimientos, y todas ellas fueron realizadas por igual en las distintas parcelas.

La medida de los parámetros climáticos exteriores se realizó mediante una estación meteorológica fija colocada a 10 m de altura y 15 m de distancia del lateral norte del invernadero 2. El registro de datos de los sensores instalados en la estación se realizó mediante un controlador de clima MultiMa (Hortimax S.L., El Ejido). En el interior de las parcelas se dispuso de cajas de medida Ektron-II-C (Hortimax S.L.). En cada caja estuvo instalada una sonda

Pt-100 con una precisión de ±0.6°C (intervalo de medida: -10°C a 60°C). Los parámetros climáticos medidos fueron: temperatura exterior e interior (°C), radiación global incidente (W·m<sup>-2</sup>), velocidad del viento (m·s<sup>-1</sup>) y dirección del viento (°), con un intervalo de medida de 5 minutos durante los ciclos estudiados.

Para la evaluación del desarrollo del cultivo se eligieron tres líneas al azar en cada parcela y cuatro plantas por línea (12 plantas/parcela), siendo la frecuencia de muestreo 15 días. Los parámetros medidos para la evaluación del desarrollo de la planta se han realizado con ayuda de una cinta métrica y un calibre digital 150 mm (Medid Precision, S.A., España) y han sido: promedio de los dos entrenudos inferiores a la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica (D1); entrenudo inmediato superior a la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica (D2); diámetro del tallo (DT); número de nudos por debajo de la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica en el momento de la medida (NN) y el incremento del tallo cada 15 días ( $\Delta T$ ), que se calculó mediante la diferencia entre distancia del último entrenudo al suelo.

Para la evaluación de la calidad de la producción se eligieron dos líneas al azar en cada parcela de experimentación y de ellas se seleccionaron 20 frutos para su evaluación. Estos parámetros se midieron cada vez que se llevó a cabo una recolección. Los parámetros medidos y sus correspondientes instrumentos de medida fueron los siguientes: peso (P, balanza electrónica PB3002-L DeltaRange®, Mettler Toledo, S.A., España); diámetro ecuatorial (D, calibre digital 150 mm, Medid Precision, S.A., España); contenido en sólidos solubles (°Brix, refractómetro PAL-1, Atago Co. LTD., Japón); firmeza (F, penetrómetro digital PCE-FM 200, PCE-Ibérica S.L., España) y materia seca (MS, balanza electrónica PB3002-L DeltaRange®, Mettler Toledo, S.A., España, y estufa de secado y tratamiento térmico, 23 – 240 I, FD series, realizándose el secado a 70°C durante 48 horas).

Para la evaluación de la producción se pesaron los frutos totales de las líneas consideradas en cada invernadero, con una balanza electrónica EKS Premium (E.K.S. Spain, S.A., España), de sensibilidad 10 g y capacidad máxima de 40 kg.

El consumo eléctrico se midió mediante contadores eléctricos distribuidos de manera que se monitorizasen de manera individual todos los elementos, quedando un contador monofásico de energía eléctrica de clase 1 para redes de baja tensión con visualizador digital, modelo MK-30-LCD-RS485 (Circutor, S.A., España) y cinco contadores trifásicos de energía EDMk (Circutor, S.A., España).

El análisis estadístico de los datos se ha realizado con el programa Statgraphics v.4 Plus. Se ha realizado la comparación de varias muestras mediante la Prueba de Rangos Múltiples, el método concreto empleado para discriminar entre las medias ha sido el procedimiento de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD). Con el objetivo de estudiar cada uno de los parámetros analizados, en las campañas 2011-12 y 2012-13 se analizaron y compararon los sectores este de los tres invernaderos multitúnel y los sectores oeste de los mismos invernaderos (Tabla 2); y, por último, en la campaña 2012-13 se comparó el sector este del invernadero multitúnel 3 con el invernadero 4 tipo Almería, para analizar en este caso sólo el efecto del tipo de invernadero.

Tabla 2. Ensayos realizados en cada parcela de experimentación  
*Table 2. Tests performed in each experimental plot*

	Sistema de calefacción <sup>1</sup>	Malla anti-insectos <sup>2</sup>	Estructura
Comparación 1			
Parcela 1-E	VN+CA	T <sub>0</sub>	Multitúnel
Parcela 2-E	VN+CB	T <sub>0</sub>	Multitúnel
Parcela 3-E	VN	T <sub>0</sub>	Multitúnel
Comparación 2			
Parcela 1-O	VN+CA	T <sub>1</sub>	Multitúnel
Parcela 2-O	VN+CB	T <sub>1</sub>	Multitúnel
Parcela 3-O	VN	T <sub>1</sub>	Multitúnel
Comparación 3 <sup>3</sup>			
Parcela 3-E	VN	T <sub>0</sub>	Multitúnel
Parcela 4	VN	T <sub>0</sub>	Almería

E: Este. O: Oeste.

<sup>1</sup> VN: ventilación natural, CB: calefacción por agua caliente con caldera de biomasa, CA: calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta.

<sup>2</sup> T<sub>0</sub>: Malla testigo de 10×20 hilos/cm<sup>2</sup>. T<sub>1</sub>: Malla experimental de 13×30 hilos/cm<sup>2</sup>.

<sup>3</sup> Durante la campaña 2012-13.

## Resultados

### Campaña 2011-12

Los valores medios de temperatura diaria durante esta campaña (Tabla 3) reflejan que la temperatura en el invernadero sin calefacción ha estado por debajo de la temperatura media exterior. En cuanto a las temperaturas

mínimas absolutas, la menor se registró en el invernadero sin calefacción. La mínima absoluta durante la campaña en el exterior fue de  $-0,15^{\circ}\text{C}$ . En los invernaderos con calefacción, se detectan temperaturas por debajo de la temperatura de consigna, lo que fue debido al necesario tiempo de reacción del controlador. Tanto en los invernaderos con calefacción como en el exterior, el valor medio de

Tabla 3. Valores de temperaturas medias diarias, máximas y mínimas absolutas y exposición a temperaturas extremas, durante las campañas 2011-12 y 2012-13, en el exterior y en las distintas parcelas de experimentación  
*Table 3. Average, maximum and minimum temperatures, during 2011-12 and 2012-13 agricultural season, inside and outside the greenhouses*

Parcela	Tratamiento	T <sup>a</sup> media diaria (°C)	T <sup>a</sup> máxima (°C)	T <sup>a</sup> mínima (°C)	Tiempo < 8°C (h)	Tiempo < 5°C (h)	Tiempo < 0°C (h)
Campaña 2011-12							
1-E	VN+CA	13,18	27,50	3,70	135,75	22,17	0,00
2-E	VN+CB	13,39	26,70	3,40	147,75	16,00	0,00
3-E	VN	11,62	24,40	0,80	378,92	90,92	0,00
1-O	VN+CA	12,98	27,40	3,60	176,33	33,42	0,00
2-O	VN+CB	12,67	25,70	2,50	199,67	32,25	0,00
3-O	VN	11,60	35,00	0,78	425,17	104,67	0,00
	Exterior	11,88	23,20	-0,15	267,42	59,50	0,33
Campaña 2012-13							
1-E	VN+CA	13,72	31,60	7,10	75,25	0,00	0,00
2-E	VN+CB	15,04	27,90	5,20	26,75	0,00	0,00
3-E	VN	12,72	27,80	3,70	261,08	23,42	0,00
1-O	VN+CA	13,66	30,10	4,90	126,83	0,33	0,00
2-O	VN+CB	13,87	28,00	4,50	62,25	4,58	0,00
3-O	VN	12,70	27,78	3,68	304,63	25,88	0,00
3-E	VN+M	12,72	27,80	3,70	261,08	23,42	0,00
4	VN+A	13,85	30,75	3,55	103,92	29,08	0,00
	Exterior	12,72	24,20	3,60	110,00	0,58	0,00

<sup>1</sup> VN: Ventilación natural; CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta.

la temperatura durante el período nocturno se mantuvo por encima de 8°C (Figura 1). En el caso del invernadero sin calefacción, este valor medio bajó durante los meses de enero y febrero por debajo de 8°C. En esta campaña el cultivo estuvo expuesto por debajo 8°C durante 425,17 horas (Tabla 3), por debajo de 5°C durante 104,67 horas, y en ningún momento por debajo de 0°C.

La radiación global incidente se situó entre 208,8 y 367,5 W m<sup>-2</sup>, la velocidad del viento media osciló entre 2,2 y 4,0 m s<sup>-1</sup> y la dirección del viento predominante fue SO.

Según los distintos parámetros de crecimiento de la planta medidos analizados en esta campaña (Tabla 4), en las parcelas dispuestas en el lado este de los invernaderos, existen diferencias estadísticamente significativas en

los parámetros incremento medio del tallo y distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera, entre el invernadero 2, con calefacción por agua caliente, y el invernadero 3, sin calefacción. Los valores más bajos los encontramos en el invernadero sin calefacción. En las parcelas dispuestas en el lado oeste, las diferencias estadísticamente significativas aparecen en el parámetro distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera, entre el invernadero 2 y el 3. Además, encontramos diferencias en el parámetro distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera, entre el invernadero 3, sin calefacción y los otros dos. Al igual que ocurre en las parcelas en disposición hacia el este, los valores más bajos los encontramos en el invernadero sin calefacción. Sin embargo, en el caso del diámetro

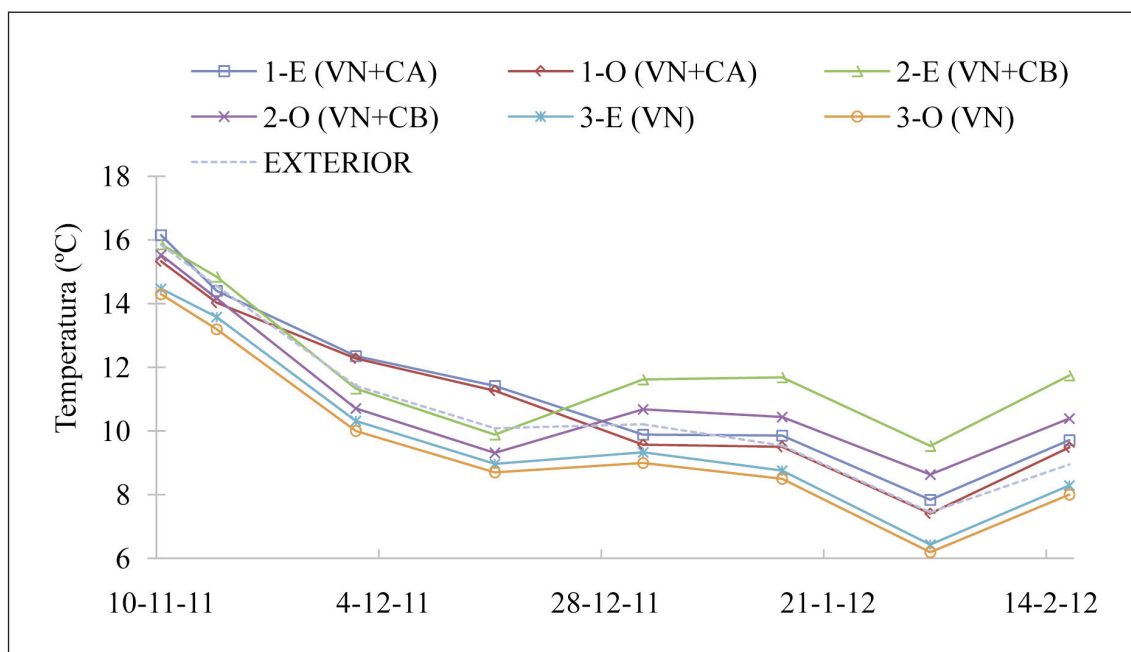


Figura 1. Media quincenal de la temperatura nocturna. Campaña 2011-12.

[VN: Ventilación natural. CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa.

CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta].

Figure 1. Average values of night temperature for fortnightly intervals. 2011-12 agricultural season.



Tabla 4. Valores medios de los parámetros de crecimiento del cultivo  
 Table 4. Average values of the growth parameters measured

Invernadero	Tratamiento	DT <sup>1</sup> (mm)	$\Delta T^2$ (cm)	D1 <sup>3</sup> (cm)	D2 <sup>4</sup> (cm)	NN <sup>5</sup>
Campaña 2011-12						
1	VN+CA	13,92 a	35,57 ab	9,17 a	8,46 ab	20,57 a
2	VN+CB	14,57 a	38,86 b	9,46 a	8,89 b	20,57 a
3	VN	15,80 b	32,99 a	8,99 a	7,80 a	20,08 a
1	VN+CA	14,08 a	37,36 a	9,06 ab	8,84 b	20,60 a
2	VN+CB	14,39 a	39,32 a	9,53 b	8,79 b	20,62 a
3	VN	15,71 b	34,68 a	8,72 a	8,08 a	19,99 a
Campaña 2012-13						
1	VN+CA	9,46 a	24,77 a	10,17 c	7,17 a	14,86 a
2	VN+CB	9,38 a	22,54 a	10,33 b	7,65 b	14,24 a
3	VN	9,40 a	20,99 a	9,60 a	6,55 a	13,70 a
1	VN+CA	9,40 a	23,86 a	10,73 c	8,27 a	15,17 a
2	VN+CB	9,30 a	21,98 a	10,49 b	7,65 a	13,99 a
3	VN	9,50 a	21,80 a	8,83 a	6,97 a	14,98 a
3	VN+M	9,40 a	20,99 a	9,60 b	6,55 a	13,70 a
4	VN+A	9,40 a	22,44 a	8,46 a	6,74 a	18,92 b

En cada columna y campaña, letras distintas indican una diferencia significativa con un nivel del 95,0% de confianza.

<sup>1</sup> Diámetro del tallo; <sup>2</sup> Incremento medio del tallo cada 15 días; <sup>3</sup> Distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera; <sup>4</sup> Distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera; <sup>5</sup> Número de nudos.

VN: Ventilación natural; CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta; M: Invernadero tipo multitúnel; A: Invernadero tipo Almería.

del tallo, los mayores valores aparecen en el invernadero sin calefacción, existiendo diferencias entre éste y los otros dos invernaderos con calefacción, tanto en las parcelas dispuestas en dirección este como en las dispuestas al oeste.

Comparando los sistemas de calefacción, en ambos sectores, se han obtenido resultados similares en cuanto a los parámetros de cali-

dad de los frutos (Tabla 5). En general podemos decir que se han desarrollado frutos más grandes, más pesados y con mayor firmeza en el invernadero sin sistema de calefacción. También se puede destacar que se han obtenido frutos con mayores niveles de sólidos solubles y mayores porcentajes de materia seca en el invernadero con calefacción por aire caliente, existiendo diferencias entre este invernadero y los otros dos en ambos sectores.

Tabla 5. Valores medios de los parámetros de calidad del fruto  
 Table 5. Average values of the fruit quality parameters

Parcela	Tratamiento	P (g)	MS (%)	D (mm)	F (kg·cm <sup>-2</sup> )	°Brix
Campaña 2011-12						
1-E	VN+CA	112,88 a	6,05 c	63,16 a	1,78 ab	5,37 b
2-E	VN+CB	115,75 ab	5,64 a	63,56 a	1,69 a	5,00 a
3-E	VN	121,05 b	5,88 b	64,91 b	2,05 b	5,06 a
1-O	VN+CA	105,04 a	5,90 b	61,37 a	1,62 a	5,34 b
2-O	VN+CB	109,29 ab	5,72 a	62,11 ab	1,39 a	5,12 a
3-O	VN	115,78 b	5,46 a	63,59 b	1,70 b	4,87 a
Campaña 2012-13						
1-E	VN+CA	98,52 a	7,44 b	58,03 a	3,11 a	5,00 a
2-E	VN+CB	99,71 a	7,13 a	58,38 a	2,97 a	4,81 a
3-E	VN	100,75 a	7,09 a	59,01 a	3,40 b	4,89 a
1-O	VN+CA	96,05 a	7,46 b	57,18 a	3,24 b	5,03 a
2-O	VN+CB	97,01 a	7,20 a	57,96 ab	2,93 a	4,85 a
3-O	VN	99,14 a	7,07 a	58,54 b	3,26 b	5,04 a
3-E	VN+M	100,75 b	7,09 b	59,01 b	3,40 b	4,89 b
4	VN+A	94,27 a	6,51 a	56,97 a	3,01 a	4,49 a

Para cada campaña y columna, letras distintas indican una diferencia significativa con un nivel del 95,0% de confianza.

P: Peso del fruto; MS: Materia seca; D: Diámetro del fruto; F: Firmeza. °Brix: contenido en sólidos solubles; VN: Ventilación natural; CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta; M: Invernadero tipo multitúnel; A: Invernadero tipo Almería.

En cuanto a la producción total obtenida en cada uno de los diferentes invernaderos podemos observar como en los dos invernaderos con calefacción la producción ha sido superior a la obtenida en el invernadero sin calefacción (3-O: 5,30 kg·m<sup>-2</sup> y 3-E: 4,60 kg·m<sup>-2</sup>) (Figura 3). De los dos sistemas de calefacción estudiados, en el de agua caliente (2-O: 6,64 kg·m<sup>-2</sup> y 2-E: 7,18 kg·m<sup>-2</sup>) se obtuvo mayor producción que en el de aire caliente (1-O: 6,47 kg·m<sup>-2</sup> y 1-E: 6,51 kg·m<sup>-2</sup>). Según la producción acumulada, los invernaderos con ca-

lefacción mantienen una tendencia común, incrementándose su valor de manera constante, Pero en el invernadero sin calefacción, en sus dos sectores, existe un periodo desde enero hasta principios de febrero, en el que la producción aumentó de manera más lenta. Este periodo coincide con el periodo en el que la media de la temperatura nocturna (Figura 1) se encontró por debajo de la temperatura de consigna (8°C).

El consumo total de gasoil fue 1,35 L·m<sup>-2</sup>, con un coste de 1,41 €/m<sup>2</sup>; y en el caso de la

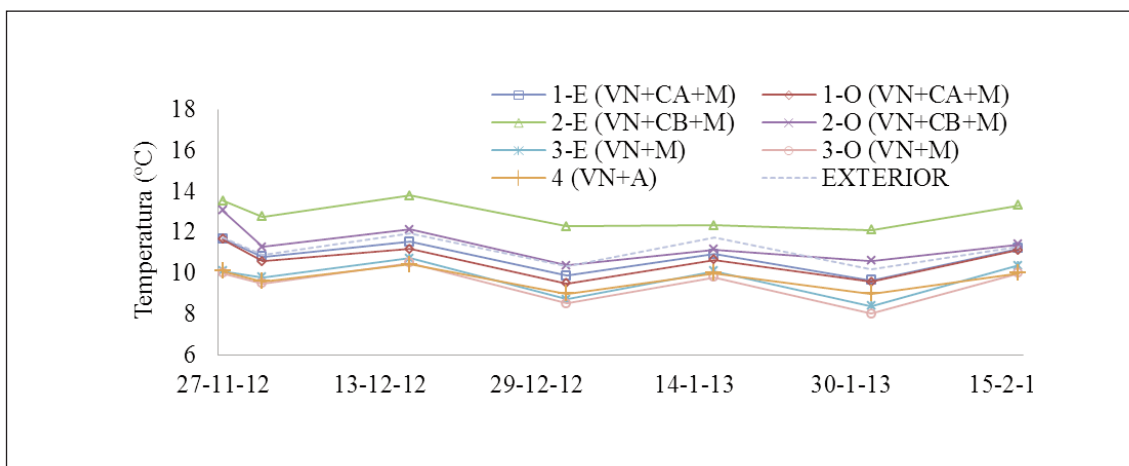


Figura 2. Media quincenal de la temperatura nocturna. Campaña 2012-13.

[VN: Ventilación natural. CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa. CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta. M: Invernadero tipo multitúnel. A: Invernadero tipo Almería].

Figure 2. Average values of night temperature for fortnightly intervals. 2012-13 agricultural season.

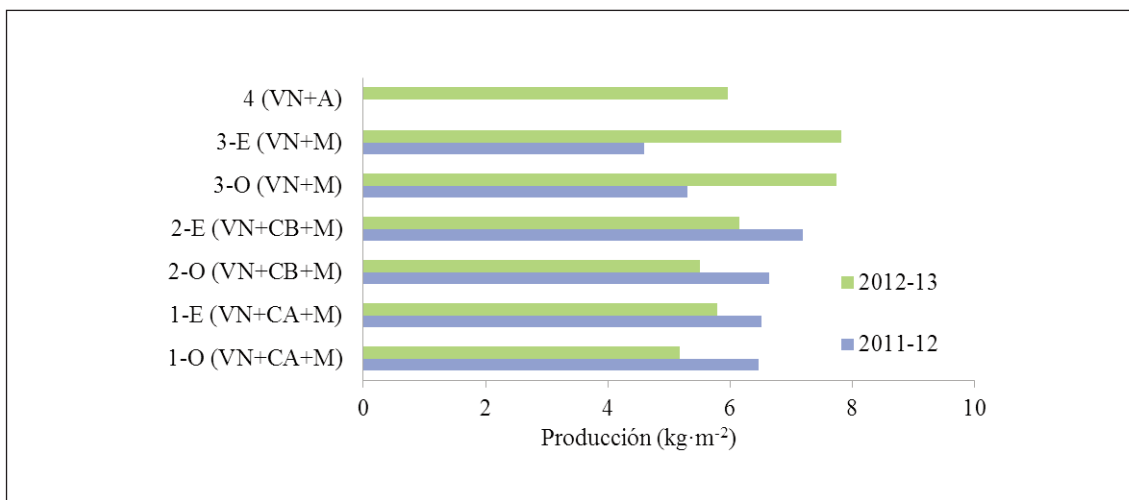


Figura 3. Producción comercial total obtenida durante las campañas 2011-12 y 2012-13.

VN: Ventilación natural. CB: Calefacción por agua caliente con caldera de biomasa. CA: Calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta. M: Invernadero tipo multitúnel. A: Invernadero tipo Almería.

Figure 3. Production obtained during the agricultural seasons 2011-12 and 2012-13.

calefacción por agua se consumieron 18,52 kg de biomasa/m<sup>2</sup>, con un coste de 3,36 €/m<sup>2</sup>.

Además de estos costes habría que sumarles los correspondientes al consumo eléctrico, en el cual se ha observado una mayor demanda energética en el invernadero con calefacción por agua caliente, 4,99 kWh·m<sup>-2</sup>, estando ésta muy por encima de los otros dos. El consumo de energía eléctrica fue el invernadero con calefacción por aire caliente de 0,95 kWh·m<sup>-2</sup> y en el invernadero con ventilación natural de 0,17 kWh·m<sup>-2</sup>.

### Campaña 2012-13

Los valores medios de temperatura diaria durante esta campaña (Tabla 3) reflejan que la temperatura en el invernadero sin calefacción ha sido menor o igual que la temperatura media exterior. En cuanto a las temperaturas mínimas absolutas en los invernaderos, la menor la encontramos en el invernadero sin calefacción. La mínima absoluta durante la campaña en el exterior fue de -3,60°C. Por debajo de todas éstas encontramos la mínima absoluta del invernadero 4. En los invernaderos con calefacción, aparecen temperaturas por debajo de la temperatura de consigna, al igual que en la campaña anterior y por los mismos motivos, aunque en este caso las mínimas absolutas son superiores, ya que la temperatura durante esta campaña fue más alta que en la anterior. En todos los invernaderos y en el exterior, el valor medio de la temperatura durante el período nocturno (Figura 2) se mantuvo por encima de 8°C. En esta campaña el cultivo estuvo expuesto por debajo de 8°C durante 304,63 horas (Tabla 3), por debajo de 5°C durante 25,88 horas, y en ningún momento por debajo de 0°C.

La radiación global incidente se situó entre 183,8 y 310,8 W m<sup>-2</sup>, la velocidad del viento media osciló entre 2,3 y 3,8 m s<sup>-1</sup> y la dirección del viento predominante fue SO.

Según los distintos parámetros de crecimiento de la planta medidos y analizados en esta campaña que podemos ver resumidos en la tabla 4, tanto en los sectores este como oeste se ha observado la tendencia a un mayor incremento del tallo (24,77 cm) y número de nudos (14,86 nudos) en el invernadero con sistema de calefacción por aire caliente. Si se han registrado diferencias estadísticamente significativas en la distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera entre los tres invernaderos, en las parcelas este y oeste, y en la distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera entre el invernadero con calefacción por agua caliente y los otros dos, sólo en las parcelas este. En el resto de parámetros no han existido diferencias entre tratamientos. En cuanto a los dos tipos de estructuras estudiadas, encontramos diferencias en la distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera (9,60 cm), siendo esta favorable a la estructura multitúnel. Por otro lado, se registró mayor número de nudos en el invernadero tipo Almería (18,92 nudos).

En la Tabla 5 se pueden apreciar los resultados para los parámetros de calidad de los frutos. Como en la campaña anterior, en ambos sectores hemos obtenido resultados similares. Se han desarrollado frutos más pesados, más grandes y con mayor firmeza en el invernadero sin sistema de calefacción. Los mayores porcentajes de materia seca se han dado en el invernadero con calefacción por aire caliente, existiendo diferencias entre éste y los otros dos en ambos sectores. En cuanto a los dos tipos de estructuras estudiadas encontramos diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros medidos, siendo estas diferencias favorables al invernadero tipo multitúnel, con mayor tamaño de fruto, porcentaje en materia seca, peso, firmeza y °Brix.

En los dos invernaderos con calefacción la producción obtenida ha estado por debajo de la

del invernadero sin calefacción (3-O: 7,74 kg·m<sup>-2</sup> y 3-E: 7,82 kg·m<sup>-2</sup>) (Figura 3). Entre los dos sistemas de calefacción no han existido diferencias (1-O: 5,18 kg·m<sup>-2</sup>, 1-E: 5,78 kg·m<sup>-2</sup>, 2-O: 5,50 kg·m<sup>-2</sup> y 2-E: 6,15 kg·m<sup>-2</sup>). En cuanto a las estructuras estudiadas, comparando el invernadero 3-E, con estructura multitúnel y sin sistema de calefacción y el invernadero 4, con las mismas características, pero en este caso con estructura tipo Almería, observamos diferencias de 1,67 kg·m<sup>-2</sup>.

En cuanto al consumo de combustible asociado al sistema de calefacción por aire caliente ha sido de 0,47 L de gasoil·m<sup>-2</sup>, con un coste de 0,53 €/m<sup>2</sup> y en el caso de la calefacción por agua caliente de 16,67 kg de biomasa·m<sup>-2</sup>, con un coste de 3,03 €/m<sup>2</sup>. Como en la campaña anterior el presupuesto necesario de biomasa ha sido muy superior al presupuesto de gasoil.

El consumo eléctrico ha sido superior en el invernadero con calefacción por agua caliente (4,11 kWh·m<sup>-2</sup>), en el invernadero con calefacción por aire caliente ha sido 0,38 kWh·m<sup>-2</sup> y en el invernadero con ventilación natural ascendió a 0,33 kWh·m<sup>-2</sup>.

## Discusión

En las dos campañas estudiadas las condiciones climáticas han sido diferentes, siendo la demanda de calefacción más elevada en la primera que en la segunda. Debido a ello, se ha observado una importante diferencia del número de horas que las plantas han estado expuestas a temperaturas inferiores a 8°C (mínima biológica según Tesi, 2001) y a temperaturas inferiores a 0°C (mínima letal según Tesi, 2001). Así pues, en la campaña 2011-12 la exposición a temperaturas extremas ha sido superior que durante la campaña 2012-13. Esto no sólo justifica el mayor consumo de combustible y eléctrico durante

la primera campaña, sino que explica en cierta medida los diferentes resultados obtenidos en la producción en cada campaña.

Se ha observado un incremento de la longitud del tallo menor en el invernadero sin sistema de calefacción en las dos campañas. La altura de la planta se reduce cuando las plantas están expuestas a temperaturas medias inferiores (Nieuwhof *et al.* 1997), aunque esta reducción es indirecta, pues es causada por una reducción en el número de hojas formadas (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005).

Los frutos más grandes, pesados y firmes, en las dos campañas, se han dado en el invernadero sin sistema de calefacción. Según Van der Ploeg y Heuvelink (2005), las temperaturas más bajas aumentan el tiempo necesario para la maduración y por lo tanto aumentan el tamaño de los frutos. Sin embargo, si la temperatura es demasiado baja, el cuajado se ve afectado y se incrementa el número de frutos "huecos".

Durante las dos campañas estudiadas, el mayor contenido en materia seca se ha dado en el invernadero con calefacción por aire caliente y el menor en el invernadero sin calefacción. El contenido de materia seca de la fruta aumenta ligeramente con el aumento de las temperaturas entre 17°C y 23°C (De Koning, 1994), lo que podría, por lo tanto, tener una influencia positiva en el sabor (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005).

Con respecto a la producción total, ésta ha sido diferente en ambas campañas agrícolas. En la primera campaña (2011-12), la producción fue superior en los invernaderos con calefacción, como López *et al.* (2000) explica para un cultivo de judía en la campaña de otoño-invierno de 1995-96, que encuentra diferencias entre calefacción por aire caliente y agua caliente frente a un testigo, donde el aporte energético a través de los sistemas de calefacción produjo un incremento notable sobre la producción acumulada de judía.

Según el *Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía*, en la campaña 2011-12, el precio en origen del tomate fue 0,59 €/kg, considerando que los parámetros de calidad de los diferentes tratamientos se encuentran dentro de los mismos rangos y teniendo en cuenta la diferencia de producción y los costes de combustible, en el caso de la calefacción por agua caliente, a pesar de ser donde encontramos las mayores producciones, se han observado pérdidas de 1,84 €/m<sup>2</sup>, y en el caso de la calefacción por aire caliente se han observado pérdidas de 0,28 €/m<sup>2</sup>. Por lo que en ninguno de los dos casos está justificado el uso de calefacción. Este aspecto se debe a la presión a la baja que hay sobre el precio de las frutas y hortalizas, que en muchos casos compromete la rentabilidad de las explotaciones, y que se agrava con la tendencia al alza de los costes de cultivo.

En la segunda campaña (2012-13), debido entre otros aspectos al excepcional invierno suave, en los invernaderos con calefacción se obtuvieron producciones incluso inferiores con respecto al invernadero sin calefactar. Según López *et al.* (2000), en un cultivo de pepino y otro de judía en la campaña de otoño-invierno de 1998-99, comparando un sistema de calefacción por aire caliente con dos consignas diferentes y un testigo (en una campaña en la que los distintos tratamientos tengan un régimen térmico semejante, como sucede en la campaña 2012-13), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la cosecha final. En este caso los motivos fueron, entre otros, el régimen de clima suave que hubo durante el invierno de esta campaña y que la planta ya estaba completamente desarrollada cuando se inició el período de frío. En nuestro caso, el hecho de que se hayan conseguido producciones mayores en el invernadero sin calefacción puede ser debido a la mayor superficie de ventilación total de este invernadero con respecto a los invernaderos con calefacción (Tabla 1).

También puede estar relacionado con que a temperaturas más altas la carga inicial de fruta es mayor, lo que da lugar a una menor cantidad de asimilados disponibles para el crecimiento vegetativo; esto podría conducir a un suministro limitado de asimilados disponibles para el desarrollo, resultando una reducción en la fructificación (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005). Sin embargo, cuando se incrementa la temperatura durante un corto periodo de tiempo, aumenta la tasa de crecimiento de los frutos (Pearce *et al.*, 1993; Kitano *et al.*, 1998; Thompson *et al.*, 1999). Por lo tanto, existe una discrepancia entre los efectos de la temperatura sobre la tasa de crecimiento de la fruta a corto y a largo plazo (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005).

En nuestro estudio, aunque el combustible fue diferente en ambos tratamientos, en las dos campañas el coste del sistema de calefacción por agua caliente ha sido superior al del sistema de calefacción por aire caliente (en la campaña 2011-12 se obtuvieron diferencias de 1,95 €/m<sup>2</sup> y en la campaña 2012-13 las diferencias fueron de 2,5 €/m<sup>2</sup>). Esto es debido a que el funcionamiento de la caldera de biomasa es continuo durante todo el día y toda la noche durante los meses de ensayo, por lo que permanentemente está consumiendo tanto biomasa como energía eléctrica; mientras que la calefacción por aire caliente sólo consume gasoil y energía eléctrica cuando está funcionando, no el resto del día o de la noche. Se intentó paliar esta situación manteniendo alta la consigna durante el día para que no funcionase la calefacción, ya que es menos probable la demanda de calor durante las horas centrales y manteniendo durante la noche a 8°C, no obstante, existe una gran diferencia entre ambos sistemas.

Algunos estudios en los que se ha podido usar el mismo combustible en los dos tratamientos, como es el caso de un estudio de López *et al.* (2000), en un ciclo de otoño-invierno de pepino de la campaña 1997-98, se obtuvo una

diferencia del consumo global de propano de  $0,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (suponiendo el precio actual  $1,3 \text{ €/kg}$  serían  $1,17 \text{ €/m}^2$ ), resultando mayor el consumo mediante el sistema de generadores de aire caliente, al contrario que sucede en nuestro caso. En un ciclo de otoño-invierno de pepino de la campaña 1998-99, obtuvo una diferencia del consumo global de propano de  $0,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  (suponiendo el precio actual  $1,3 \text{ €/kg}$  serían  $1,17 \text{ €/m}^2$ ), resultando mayor el consumo mediante el sistema de tubería radiante con agua caliente, al igual que sucede en nuestro caso, siendo la diferencia entre tratamientos similares a las de nuestra campaña 2011-12.

El consumo de energía eléctrica en la campaña 2011-12 fue un 81% superior en el sistema de calefacción por agua caliente y un 91% superior en la campaña 2012-13, que el sistema de calefacción por aire caliente. Como se ha comentado previamente, la calefacción por agua caliente está activada durante todo el periodo de ensayo, teniendo un consumo basal de biomasa y energía eléctrica independientemente de que esté enviando agua caliente al invernadero, mientras que la calefacción por aire caliente sólo se activa puntualmente en función de la temperatura interior del invernadero. Esto ya lo observó López et al. (2005), aunque a unos niveles inferiores, en un ciclo de judía de invierno para un invernadero multitúnel, donde el consumo de energía 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. Sin embargo, otros autores como Teitel et al. (1999), obtienen resultados que muestran que no hay diferencia significativa entre los dos métodos en el consumo de energía requerida para obtener un nivel de temperatura dado dentro del invernadero, siempre y cuando las tuberías y conductos estén posicionados entre las filas de las plantas.

Del estudio de estas dos campañas se concluye que en aquellos años en los que debido

a las condiciones climáticas se expone al cultivo de tomate a temperaturas inferiores a  $8^\circ\text{C}$  durante prolongados periodos de tiempo, se observan diferencias en la producción. Por el contrario, en campañas en las que esta exposición a bajas temperaturas no es prolongada, no se han obtenido resultados favorables a ningún tipo de calefacción. Por otro lado, los consumos de combustible y eléctricos, en relación con la diferencia de producción, no han justificado en ningún caso el uso de sistemas de calefacción activa. De acuerdo con López et al. (2000), la temperatura óptima agronómica no tiene por qué coincidir con la óptima económica, por lo que es conveniente adoptar los niveles de control térmico que generen los mejores resultados económicos. Además de los costes asociados con los altos consumos de energía de calefacción, existen los problemas ambientales asociados a la emisión de gases nocivos (Kittas et al., 2011).

Con respecto a la comparación de los dos tipos de estructuras analizadas, ambas con ventilación natural, han existido diferencias en los resultados del análisis de la calidad de los frutos y la producción final, obteniéndose mejor respuesta de estos parámetros en la estructura tipo multitúnel en todos los casos. Esto pudo ser debido a que la tasa de ventilación de los invernaderos analizados fue superior en las estructuras de tipo industrial o multitúnel, que en el invernadero Almería estudiado, el cual no era de última generación y no disponía de ventilación cenital en todas las cubiertas.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Gobierno de España) y el FEDER, mediante el proyecto de investigación de referencia AGL 2015-68050-R. Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación

CLAIMBITAL de la Universidad de Almería por el apoyo prestado para el desarrollo de la experimentación.

## Bibliografía

- Adams SR, Cockshull KE, Cave CRJ (2001). Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 88: 869-877.
- Bartzanas T, Tchamitchian M, Kittas C (2005). Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering* 91(4): 487-499.
- Bascetinçelik A, Ozturk HH, Paksoy HO, Demirel Y (1999). Energetic and exergetic efficiency of latent heat storage system for greenhouse heating. *Renewable Energy* 16: 691-694.
- De Koning ANM (1994). Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 240 pp.
- Dorais M, Papadopoulus AP, Gosselin A (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews* 26: 239-319.
- Kitano M, Araki T, Eguchi H (1998). Temperature dependence of postphloem transport regulated by respiration in tomato fruits. *Biotronics* 27: 33-39.
- Kittas C, Katsoulas B, Bartzanas T (2011). Characterization and analysis of the effects of greenhouse climate. Control equipment on greenhouse microclimate and crop response. *Acta Horticulturae* 893: 117-132.
- López JC, Lorenzo P, Medrano E, Sánchez-Guerrero MC, Pérez J, Puerto HM, Arco M (2000). Calefacción de invernaderos en el sudeste español. Resultados experimentales para cultivos de pepino y judía. *Caja Rural de Almería* (Ed). Almería. 54 pp.
- López JC, Baille A, Bonachela S, Montero JI, González-Real MM, Pérez-Parra J (2005). Consumos de energía en invernaderos multitúnel en la región de Almería. Comparación de dos sistemas de calefacción. III Congreso nacional de agroingeniería. 21 al 24 de Septiembre. Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' 200523. Almería.
- Montero JI (2012). Desarrollo de estructuras para invernaderos. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios. Fundación Cajamar 3: 47-70.
- Nieuwhof M, Keizer LCP, Van Oeveren JC (1997). Effects of temperature on growth and development of adult plants of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Genetics and Breeding* 50: 185-193.
- Observatorio de precios y mercados (2015). Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio> (15 diciembre 2015).
- Pearce BD, Grange RI, Hardwick K (1993). The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *Journal of Horticultural Science* 68: 1-11.
- Perdigones A, García JL, Pastor M, Benavente RM, Luna L, Chaya C, de la Plaza S (2006). Effects of heating control strategies on greenhouse energy efficiency: experimental results and modelling. *Transactions of the ASABE* 49(1): 143-155.
- Tadj N, Bartzanas T, Fidaros D, Draoui B, Kittas C (2010). Influence of heating system on greenhouse microclimate distribution. *Transactions of the ASABE* 53(1): 225-238.
- Teitel M, Segal I, Shklyar A, Barak M (1999). A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 259-273.
- Tesi R (2001). Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Mundi-Prensa (Ed.). Madrid. 288 pp.
- Thompson DS, Smith PW, Davies WJ, Ho LC (1999). Interactions between environment, fruit water relations and fruit growth. *Acta Horticulturae* 487: 65-70.
- Valera DL, Belmonte LJ, Molina FD, López A (2016). Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno-economic analysis. *Cajamar Caja Rural, Almería*. 408 pp. (Disponible



en: <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/greenhouse-agriculture-in-almeria-a-comprehensive-techno-economic-analysis/>).

Van der Ploeg A, Heuvelink E (2005). Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80(6): 652-659.

Verlody H (1990). Protected cultivation in the mediterranean climate. Greenhouses in Cyprus. FAO.

Wacquant C (2000). La construction des serres et abris. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL). Francia. 207 pp.

(Aceptado para publicación el 25 de mayo de 2016)