



## EFECTO DE UN SISTEMA DE NEBULIZACIÓN DE ALTA PRESIÓN SOBRE EL CLIMA Y LA BIOPRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE PIMIENTO EN INVERNADERO

Jerónimo Pérez-Parra  
Raúl Aroca  
Guillermo Zaragoza  
Esteban Baeza  
Juan C. Gázquez  
Juan C. López

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

# **Efecto de un sistema de nebulización de alta presión sobre el clima y la bioproduktividad de un cultivo de pimiento en invernadero**

Jerónimo J. Pérez-Parra, Raúl Aroca, Guillermo Zaragoza, Esteban J. Baeza Juan C. Gázquez, Juan C. López

Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”. Autovía del Mediterráneo Km. 416,7 El Ejido 04710 Almería (España) <mailto:jpparra@cajamar.es>

## **Resumen**

En Almería, así como en otras zonas de producción hortícola de la cuenca mediterránea es cada vez más habitual la extensión de los ciclos de producción al periodo estival. Este hecho está motivado, en gran medida, por la necesidad de abastecer el mercado con un suministro continuo y estable de frutas y hortalizas a lo largo del año. En esta época, los elevados niveles de radiación provocan que las temperaturas en el interior del invernadero se sitúen muy por encima de los óptimos de los diferentes cultivos. Bajo tales condiciones tanto la ventilación natural como los sistemas de sombreado son, en la mayoría de los casos, insuficientes para mantener niveles térmicos adecuados para los cultivos en el invernadero y se hace necesario recurrir a sistemas activos de refrigeración, como los basados en la evaporación de agua, para reducir el exceso de calor sensible que aparece desde las primeras horas del día. Uno de los sistemas más eficientes a la hora de mantener valores de temperatura y humedad adecuados, es la nebulización de agua a alta presión (60-70 atm). Para evaluar la eficacia de esta técnica, se llevó a cabo un ensayo en dos invernaderos tipo multitúnel con cubierta de plástico, ubicados en la Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”. En uno de ellos se dispuso un sistema de nebulización de alta presión (60 atm) con un caudal de  $0,8 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  y en el otro el invernadero no nebulizado, se blanqueó la cubierta siendo éste el invernadero testigo (práctica habitual de la zona). Se evaluó, durante dos campañas, (2002/2003, 2003/2004) el efecto del sistema de nebulización sobre el clima del invernadero (sin blanqueo) y sobre la bioproduktividad de un cultivo de pimiento de transplante temprano (mediados de Julio), observándose que el sistema era capaz de mantener los valores consigna de temperatura y déficit de presión de vapor (DPV). El invernadero blanqueado provocó un aumento de la superficie foliar y un menor peso foliar específica con respecto al nebulizado. Aunque se obtuvo una cierta precocidad en el invernadero nebulizado, la producción comercial final fue similar en el invernadero nebulizado y en el testigo.

**Palabras clave:** nebulización, refrigeración, pimiento, invernadero.

## **Abstract**

Title: Effect of a high pressure fog system on the climate and bioproduktividad of a greenhouse pepper crop.

The Mediterranean greenhouse horticultural production areas, being Almeria one of the most representatives, is becoming very common to extend the growing cycles to the summer period. This is mainly motivated by the interest of a continuous and stable supply of fresh fruits and vegetables throughout the whole year. During the summer months, the high incident radiation levels cause the temperatures inside the greenhouses to be very well above the optimal values for the different cultivated crops. Under such harmful conditions both natural ventilation and different shading techniques are, in most cases, insufficient to meet the cooling requirements of the greenhouse. It becomes

necessary to report to evaporative cooling systems, evaporating water inside the greenhouse and contributing therefore to consume the excess of sensible heat accumulated from the early hours of the day. One of the most efficient evaporative cooling systems in maintaining appropriate vapour pressure deficit values is the high pressure fog system (60-70 atm.). To test this technique efficiency, experiments were carried out in two analogue multi-tunnel type plastic naturally ventilated greenhouses. One greenhouse was implemented with a high pressure fog system (60 atm.) with an average flow of  $0,8 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  and the other did not have any cooling device, and was shaded by means of a white-wash (standard practice and dose of the area), being this the control greenhouse. During two growing seasons (2002/2003, 2003/2004), the effect of the fog system on the climate of the unshaded greenhouse and the bio-productivity of an early cycle pepper crop (transplant on the middle of July) was evaluated and compared with the control, observing that the fog system was able to maintain the temperature and VPD set values. In the shaded greenhouse, an increase in the leaf area index and a decrease in the specific leaf weight were observed in relation to the unshaded greenhouse. Although certain precocity was observed in the greenhouse with evaporative cooling, the final commercial yield values were very similar in both greenhouses in both seasons.

**Keywords:** fog system, cooling, pepper, greenhouse.

## Introducción

El cultivo de hortalizas durante los meses de verano en la provincia de Almería, y en otras zonas del Mediterráneo se está convirtiendo paulatinamente en una práctica cada vez más común, bien sea por el deseo de cubrir la demanda de un suministro continuo y estable de frutos y hortalizas por parte de los grandes distribuidores en Europa, o por la necesidad de maximizar el uso de las estructuras y equipamientos, e incrementar la cosecha por unidad de área cultivada (Arbel y col., 2000). Para poder cultivar con éxito durante los meses de verano, los sistemas de ventilación natural tradicionales combinados con el sombreado por encalado estándar resultan a menudo insuficientes para proporcionar las condiciones de humedad y temperatura deseadas, y procesos fundamentales para la producción, como la floración y el cuajado de los frutos se ven seriamente afectados por las temperaturas elevadas (Peet y col., 1997).

La ventilación natural es a menudo deficiente en Almería por tres razones fundamentales: el área de ventilación es insuficiente, las ventanas presentan diseños ineficientes y se usan mallas de anti-insecto de baja porosidad sin adoptar medidas compensatorias (Baeza y col., 2004). El sombreado por encalado de la cubierta plástica, resulta un sistema económico y además se trata de un método fácil de usar y aplicable a cualquier estructura de invernadero y dimensiones aunque puede afectar negativamente al potencial fotosintético, al reducirse la transmisión de radiación fotosintéticamente activa o PAR. Sin embargo, cuando existe otra fuente de refrigeración, como puede ser la transpiración del cultivo o la evaporación de agua, pierde importancia relativa y tiene un menor efecto sobre el clima interno (Montero y col., 1998).

La refrigeración evaporativa mediante nebulización de alta presión, permite en condiciones de baja humedad ambiental (ej. con cultivos poco desarrollados), disminuir de forma muy eficaz los valores de temperatura ambiente y mantener un déficit de presión de vapor adecuado, con la ventaja de que no aparecen gradientes longitudinales de temperatura y humedad, como ocurre en los sistemas de panel evaporante. En contrapartida, son sistemas caros y muy sensibles a la calidad del agua (por bloqueo de las boquillas) y no consiguen bajar la temperatura foliar a no ser que los valores de tasa

de ventilación natural sean elevados, lo cual no siempre es posible en días de verano, por ser las velocidades de viento demasiado bajas y/o por los problemas de ventilación anteriormente mencionados (Baille, 2004).

Los objetivos del presente trabajo son evaluar el efecto sobre el microclima del invernadero y la bioproductividad de un cultivo de trasplante temprano de pimiento, de un sistema de nebulización de alta presión combinado con ventilación natural frente a un invernadero testigo sombreado mediante un encalado y con ventilación natural.

### **Material y métodos**

Se han empleado para los ensayos realizados en las dos campañas (2002/2003, 2003/2004) dos invernaderos multitúnel con tres módulos iguales de 7,5 x 28 m<sup>2</sup> (superficie total de 630 m<sup>2</sup>) orientados en dirección Este-Oeste. La cubierta es de plástico tensado tricapa. Los dos invernaderos disponen de ventilación pasiva por medio de ventanas, tanto laterales como cenitales, totalmente automatizadas, con ventanas laterales en las bandas norte y sur y cenitales en cada uno de los módulos, protegidas con malla anti-insectos BIONET de 20 x 10 hilos.cm<sup>-2</sup>. Para el registro de la temperatura y humedad relativa en los invernaderos del ensayo, se dispusieron aspirópsicrómetros ventilados (*PB System*).

El medio de cultivo empleado está compuesto por contenedores de fibra de coco sobre canales de poliestireno. El material vegetal empleado fue Pimiento California rojo cv. VERGASA (Syngenta Seeds). Las líneas de cultivo se dispusieron según la orientación Norte-Sur, con un total de 14 líneas de cultivo compuestas de 74 plantas, con una separación entre líneas de 2 m. y una densidad de plantación de 2 plantas.m<sup>-2</sup>.

En la campaña 2002/2003, el trasplante se realizó el 16 de Julio de 2002, dándose el cultivo por finalizado el 2 de Febrero de 2003 por cuestiones técnicas (rotura del plástico de cubierta tras una tormenta) y procediéndose a su arranque. En la campaña 2003/2004, el trasplante se realizó el 18 de Julio de 2003, finalizando el cultivo el 12 de Febrero de 2004. En la primera campaña de ensayo, las distintas recolecciones se iniciaron el 27 de Septiembre de 2002 (79 días después del trasplante), finalizando el 2 de Febrero de 2003 (201 d.d.t.) mientras que en la segunda campaña, se iniciaron el 15 de Octubre de 2003 (89 días después del trasplante), finalizando el 12 de Febrero de 2004 (209 d.d.t.). Se analizaron los frutos atendiendo a la norma de calidad para pimientos dulces (REGLAMENTO CE 1455/1999, modificado por el REGLAMENTO CE 2706/2000), determinando producción total, comercial, precoz, no comercial y por categorías, número de frutos comerciales y peso medio del fruto comercial. Se establecieron 5 repeticiones por invernadero, estando formada cada repetición por 16 plantas. Se midió peso fresco y seco de hojas además del IAF (índice de área foliar) y el peso foliar específico.

El encalado de la cubierta y las paredes del invernadero testigo fue llevado a cabo mediante una sola aplicación de carbonato cálcico (25 kg de cal apagada por 100 litros de agua) un día antes del trasplante del cultivo, en ambas campañas. La aplicación del encalado sobre la cubierta del invernadero se llevó a cabo según la práctica habitual en la zona. El sistema de nebulización de alta presión, de hasta 60 atmósferas está compuesto por tuberías de acero galvanizado y nebulizadores de un caudal de 5,3 l.h<sup>-1</sup> distribuidos en un marco de 1,5 x 4 m<sup>2</sup> (0,88 l.m<sup>-2</sup> a la hora). Durante la primera campaña, se fijó un régimen mínimo de humedad favorable a la planta (déficit hídrico no superior a 6 g.kg<sup>-1</sup> de aire) y en la segunda campaña este se subió a 10 g.kg<sup>-1</sup> de aire.

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó un diseño unifactorial siendo los factores la estrategia de refrigeración (nebulización o encalado).

### **Resultados y discusión**

La figura 1 muestra la evolución diaria de la temperatura del aire a lo largo de los periodos 1 y 2 del ciclo de cultivo de pimiento de la primera campaña. Durante el periodo 1 (1-114 ddt), se puede apreciar cómo, en el ensayo correspondiente al encalado, se alcanzan temperaturas máximas que superan hasta en 5°C las del tratamiento nebulización entre las 9 y las 18 horas. La figura 2 muestra la evolución media diaria de la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor (DPV), a lo largo del periodo de cultivo más exigente, el ciclo 1, para la segunda campaña de ensayos. En esta segunda campaña, al haberse establecido una consigna de DPV superior a la de la primera campaña, no se observan diferencias de temperatura tan acusadas en las máximas, de forma que ambos tratamientos mantienen valores muy similares. En la primera campaña, en las horas centrales del día, las temperaturas medias en ambos tratamientos estuvieron en torno a 30 °C mientras que en la segunda campaña estuvieron más cerca de los 35°C. Esto se debe fundamentalmente a que las temperaturas medias diurnas exteriores en este segundo año de ensayo fueron también superiores.

En el cuadro 1 se muestran los valores promedio de DPV máximos, mínimos y medios registrados en el interior de los invernaderos en los dos periodos en que se ha dividido el ciclo para la primera campaña de ensayos. Como puede observarse, en el periodo 1 el valor promediado del DPV alcanza 1,3 kPa y 2 kPa para la nebulización y el encalado respectivamente, mientras que en el periodo 2 los valores siguieron una dinámica muy similar en ambos tratamientos. En el tratamiento encalado se han producido algunas situaciones de estrés hídrico al principio del cultivo que han sido evitadas en el caso de la nebulización. En la segunda campaña, la dinámica del DPV fue muy similar a la primera, aunque en este caso, como se mencionó anteriormente, el DPV consigna para el tratamiento de nebulización fue superior. En la primera campaña se mantuvieron valores promedio en las horas centrales del día de 1 kPa para el tratamiento de nebulización, y en la segunda campaña estos valores oscilaban entre 1,5 y 2 kPa.

En ambas campañas, el tratamiento de encalado proporcionó valores de índice de área foliar significativamente mayores que el tratamiento de nebulización (cuadro 2). Sin embargo, también en ambas campañas, las hojas del tratamiento de nebulización presentaban un mayor peso foliar específico, especialmente en la primera campaña, en la que el régimen de nebulización fue más intenso, lo que ratifica que las hojas del pimiento respondieron al tratamiento encalado con mayor expansión foliar pero menor grosor.

Tal y como muestra el cuadro 3, en general, no se observaron diferencias significativas para la producción final entre ambos tratamientos, aunque en ambas campañas esta fue ligeramente superior en el tratamiento encalado. En la primera campaña sí hubo casi un 1 kg m<sup>-2</sup> de diferencia a favor del tratamiento por encalado para la producción comercial, disminuyendo esa diferencia a menos de la mitad en la segunda campaña. Lo más destacable es que, en ambas campañas, el tratamiento de nebulización indujo una mayor precocidad en la producción total, tal y como se observa en el cuadro 4, aunque en lo que respecta a la producción comercial precoz, en la primera campaña fue el encalado el que presentó valores mayores de producción, sobre todo por presentar una producción no comercial muy baja respecto al tratamiento de nebulización. En la segunda campaña, este factor se invirtió, siendo en este caso la producción comercial precoz significativamente mayor en el tratamiento de nebulización.

## Conclusiones

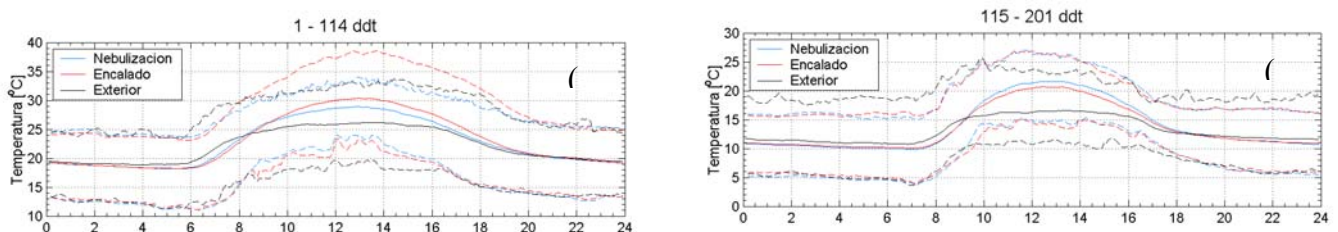
El invernadero blanqueado provocó un aumento de la superficie foliar y un menor peso foliar específica con respecto al nebulizado. Aunque se obtuvo una cierta precocidad en el invernadero nebulizado, la producción comercial final fue similar en el invernadero nebulizado y en el testigo.

El mayor coste del sistema de nebulización frente al encalado tradicional (además de las complicaciones técnicas de su instalación y mantenimiento), cuando además no produjo ningún efecto positivo sobre la producción de calidad en el cultivo de pimiento, no justificó, en este caso, la incorporación de sistemas de nebulización como alternativa a la práctica habitual del encalado.

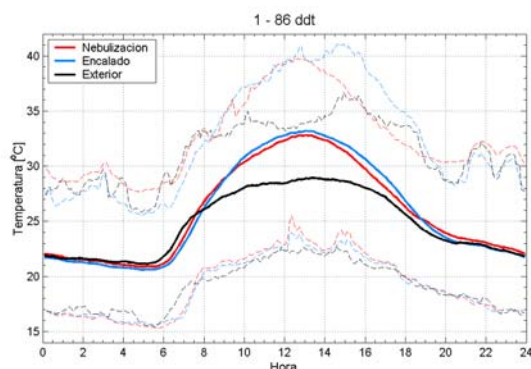
## Revisión bibliográfica

- Arbel, A., Shklyar, A., Barak, M. (2000) Buoyancy-driven ventilation in a greenhouse cooled by a fogging system. *Acta Horticulturae*, 534: 327-334
- Baeza, E.J., Pérez-Parra, J.J., Montero, J.I. (2004) Effect of ventilator size on natural ventilation in parral greenhouse by means of CFD simulations. *Greensys 2004*, in press.
- Baille, A. (2004) Requirements and Constraints in Design Greenhouses Structures and Equipment for Mediterranean Climates. *CIGR Congress*, Evora, Portugal, in press.
- Kittas, C., Boulard, T., Papadakis, G. (1997) Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. *Trans. of the ASAE* 40 (2): 415-425.
- Montero, J.I., Antón A. y Muñoz, P. (1998). Refrigeración de invernaderos. En: *Tecnología de invernaderos II. Curso Superior de Especialización*. Eds. Pérez-Parra y Cuadrado. FIAPA, Diputación Provincial de Almería y Junta de Andalucía, pp 313-398.
- Peet, M.M., Willits, D.H., Gardner, R. (1997) Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes of chronic, sub-acute high temperature stress. *J. of Exp. Bot.* 48(306): 101-111
- Willits, D. H. (2000) The effect of ventilation rate, evaporative cooling, shading and mixing fans on air and leaf temperatures in a greenhouse tomato crop. *ASAE Paper no. 00-4058*, pp 18.
- Willits, D.H. (2000) Constraints and limitations in greenhouse cooling: challenges for the next decade. . *Acta Horticulturae*, 534:57-66

## Figuras



**Figura 1.** Evolución horaria de la temperatura promedio (línea continua), máxima y mínima, en °C, del aire del invernadero bajo los dos tratamientos y del exterior, para el periodo 1 (a) y el periodo 2 (b); Campaña 2002/2003.



**Figura 2.** Evolución horaria de la temperatura promedio (línea continua), máxima y mínima (líneas discontinuas) en °C, del aire del invernadero bajo los tres tratamientos y del exterior.

## Cuadros

**Cuadro 1.** . Promedio durante cada uno de los periodos del ciclo de cultivo de los déficits de presión de vapor (DPV) máximo, medio y mínimo diario, en kPa, del aire del invernadero bajo dos tratamientos de refrigeración (nebulización y encalado) y del aire exterior; campaña 2002/2003

		NEBULIZACIÓN	ENCALADO	EXTERIOR
Periodo 1	DPVmax	1,3	2	2,1
	DPVmed	0,6	0,8	1
	DPVmin	0,2	0,2	0,2
Periodo 2	DPVmax	1	1	1,1
	DPVmed	0,4	0,4	0,5
	DPVmin	0,14	0,13	0,14

**Cuadro 2.** Índice de área foliar (IAF) para cada uno de los tratamientos ensayados

TRATAMIENTO	1 ddt		52 ddt		91 ddt		177 ddt		199 ddt	
Nebulización (2002/2003)	0,3	a	1,4	a	2,4	a	2,7	a	2,7	a
Encalado (2002/2003)	0,3	a	1,9	b	3,1	b	3,2	a	3,4	a
TRATAMIENTO	1 ddt		54 ddt		83 ddt		150 ddt		209 ddt	
Nebulización (2003/2004)	0,1	a	1,7	ab	2,6	a	3,7	a	3,8	a
Encalado (2003/2004)	0,1	a	1,8	b	3,2	b	3,9	a	4	a

Nota: Test de rangos múltiples de Mínimas Diferencias Significativas (LSD), números seguidos de distinta letra denotan diferencias significativas (nivel 5%). Cada número es media de 5 repeticiones.

**Cuadro 3.** Producción acumulada ( $\text{g m}^{-2}$ ) de pimiento bajo los dos tratamientos en ambas campañas.

Producción; campaña 2002/2003										
Tratamientos	Total		Comercial						No Comercial	
			Comercial		Cat. I		Cat. II			
Nebulización	<b>8355,9</b>	<b>a</b>	<b>6670,1</b>	<b>b</b>	<b>4201,8</b>	<b>a</b>	<b>2468,2</b>	<b>a</b>	<b>1685,8</b>	<b>b</b>
Encalado	<b>8680,3</b>	<b>a</b>	<b>7512,6</b>	<b>a</b>	<b>4495,4</b>	<b>a</b>	<b>3017,2</b>	<b>a</b>	<b>1167,6</b>	<b>a</b>
Producción; campaña 2003/2004										
Nebulización	<b>7530.1</b>	<b>a</b>	<b>6732.8</b>	<b>a</b>	<b>3432.0</b>	<b>a</b>	<b>3300.7</b>	<b>a</b>	<b>797.4</b>	<b>a</b>
Encalado	<b>8021.6</b>	<b>a</b>	<b>7108.2</b>	<b>a</b>	<b>3150.0</b>	<b>a</b>	<b>3958.0</b>	<b>a</b>	<b>913.4</b>	<b>a</b>

Nota: Test de rangos múltiples de Mínimas Diferencias Significativas (LSD), números seguidos de distinta letra denotan diferencias significativas (nivel 5%). Cada número es media de 5 repeticiones.

**Cuadro 4.** Producción acumulada (g.m<sup>-2</sup>) de pimiento bajo los dos tratamientos ensayados para el periodo 1 para ambas campañas.

<i>Producción precoz; campaña 2002/2003</i>										
<i>Tratamientos</i>	<i>Total</i>		<i>Comercial</i>						<i>No Comercial</i>	
			<i>Comercial</i>		<i>Cat. I</i>		<i>Cat. II</i>			
<i>Nebulización</i>	3331,9	a	2499,0	b	1595,8	b	903,2	a	832,9	b
<i>Encalado</i>	3111,0	a	2869,2	a	2060,7	a	808,5	a	241,8	a
<b>PRODUCCIÓN PRECOZ; CAMPAÑA 2003/2004</b>										
<i>Nebulización</i>	2830,1	a	2505,2	a	1199,9	a	1305,4	a	324,9	a
<i>Encalado</i>	2200,1	b	1978,7	b	840,9	b	1137,9	b	221,4	b

*Valores seguidos de distinta letra denotan diferencias significativas (nivel 5%). Cada valor es media de 5 repeticiones*