

ESTUDIO MICROCLIMÁTICO Y PRODUCTIVO DE DOS PAQUETES TECNOLÓGICOS PARA INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS CON TOMATE CHERRY

O. HITA
M. ROMERO-GÁMEZ
T. SORIANO
M.I. MORALES
E. SUÁREZ-REY
N. CASTILLA

Departamento de Horticultura
IFAPA-Centro Camino de Purchil, Apartado 2027, 18080 (Granada)

RESUMEN

La globalización de los mercados y la creciente competitividad de las producciones de invernadero subrayan la necesidad de mejorar su calidad en los invernaderos españoles, que se caracterizan por su bajo nivel tecnológico. Ello implica encontrar una solución de compromiso entre los mayores costes de inversión y producción en invernaderos mejor equipados y sus prestaciones agronómicas, para producir con la calidad requerida por los mercados a costes competitivos.

Este trabajo presenta los resultados del estudio comparativo de dos sistemas productivos, invernadero «parral» mejorado con escaso equipamiento (A) y multitúnel comercial con equipamiento sofisticado (B) en condiciones mediterráneas, con tomate tipo cereza. El invernadero A estaba dotado de un equipo de calefacción por aire caliente, con temperatura consigna de arranque de 10 °C, mientras que el invernadero B disponía de un sistema de calefacción por agua caliente con temperatura de consigna de arranque 14 °C, así como de ventilación mecánica y de pantalla mixta (térmica y de sombreado). Las integrales térmicas acumuladas en los dos ciclos fueron muy similares en los dos invernaderos, al compensarse las menores temperaturas mínimas del invernadero A con sus mayores temperaturas diurnas. Las producciones comerciales de tomate alcanzaron en el primer ciclo 11,43 kg/m² y 11,91 kg/m² en los invernaderos A y B, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. Tampoco hubo diferencias en el segundo ciclo, llegando a 8,54 kg/m² y 9,44 kg/m² en los invernaderos A y B, respectivamente. La comparación económica de ambos sistemas producti-

vos evidencia los mejores resultados del tipo «parral mejorado» en las condiciones del estudio.

Palabras clave: Parral, multitúnel, control climático, calefacción, ventilación, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

La expansión de los invernaderos plásticos de bajo coste en el área mediterránea (Castilla, 1991; Castilla, 2002) ha generado un potente sector hortofrutícola, con un notable crecimiento de la superficie de invernaderos tipo parral en las últimas décadas (Castilla, 2005). Sin embargo, actualmente este sector necesita mejorar su nivel tecnológico para mantener su competitividad en el mercado internacional, cada vez más exigente en calidad y en respeto al medio (Antón y Montero, 2003).

El aumento de las pendientes de cubierta (Castilla y col., 1999), junto con la orientación adecuada del invernadero (Soriano y col., 2004), ha maximizado la transmisividad a radiación solar en otoño e invierno, facilitando a su vez la eliminación de las gotas de condensación de la cara interna del plástico por escurrimiento. Una mayor altura, el incremento del número y superficie de ventanas, la adecuada ubicación de las mismas y la automatización de su apertura y cierre con sencillos controladores ha permitido una mayor eficiencia de la ventilación en épocas de alta radiación. A pesar de estas mejoras, las premisas del mercado han provocado la aparición de nuevas estructuras y paquetes tecnológicos, y cada vez es mayor el interés en la incorporación a los invernaderos del área mediterránea de equipos de control más sofisticados, cuyo uso permita mejorar las condiciones microclimáticas y, en consecuencia, la calidad de las producciones (Baille, 1999). El desconocimiento de efectividad en distintas condiciones climáticas hace que, en ocasiones, se lleven a cabo fuertes inversiones que no revierten en un beneficio relevante para el productor, ni en notables aumentos de producción ni calidad. Optar por un paquete tecnológico es una elección estratégica, con frecuencia de alto coste, que debe tener en cuenta las características climáticas de la zona de instalación y adecuar a ellas su manejo (Castilla, 2005).

El objetivo que se persigue en este trabajo es conseguir la máxima producción y calidad al menor coste económico y ambiental. Para esto se está realizando la comparación de dos modelos productivos (paquetes tecnológicos): un sistema de bajo coste con un invernadero parral mejorado, diseñado para las condiciones climáticas mediterráneas (Castilla y col., 2001; Soriano y col., 2003) frente a un invernadero multitúnel comercial con un elevado nivel de equipamiento para el control climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo en la Finca Experimental La Nacla de Caja Rural de Granada, ubicada en Motril (latitud 36°45' N, longitud 3°30' W y altitud 130 m). El primer paquete tecnológico está constituido por un invernadero tipo Parral (A) de cubierta simétrica con pendiente de 27°, con tres módulos de 6 m de anchura cada uno. Está dotado de calefacción de apoyo por aire caliente y ventilación pasiva con ventanas laterales y cenitales de apertura automatizada.

El segundo paquete está integrado por un invernadero multitúnel comercial (B), también trimodular, con calefacción por agua a alta temperatura y ventilación pasiva motorizada (cenital y lateral). Este invernadero también dispone de ventilación forzada a través de tres ventiladores externos laterales cubiertos de malla antiinsectos que impulsan aire al interior, tres ventiladores desestratificadores internos y una pantalla mixta con doble función: térmica y de sombreado. Ambos invernaderos están orientados este-oeste y el material de cubierta empleado ha sido polietileno tricapa PE-EVA-PE de 0,2 mm de espesor. La capa interior de PE (polietileno) es antigoteo y la exterior de larga duración.

Para el estudio microclimático se han utilizado sondas de humedad y temperatura (HMP45C, Vaisala), sondas de temperatura de sustrato (107, Campbell) y piranómetros (SKS1110, Sky instruments). Todos ellos se han conectado a un datalogger CR10X de Campbell, programado para registrar medidas cada diez minutos. Un controlador climático (Priva) ha manejado los automatismos en ambos invernaderos. Las consignas establecidas para el funcionamiento de la calefacción han sido de 14 °C para el invernadero B y 10 °C para el A. Los umbrales para la ventilación natural han estado entre 22 °C y 25 °C, dependiendo de los periodos. La ventilación forzada y la pantalla de sombreado del invernadero B se han activado para temperaturas superiores a 30 °C ó 25 °C para el primer y segundo ciclo, intentando mantener el DPV (déficit de presión de vapor) entre 1,5 y 2 kPa y los desestratificadores se han utilizado a partir de 22 °C. La pantalla térmica se ha utilizado durante la mitad del otoño y en todo el invierno.

Se han desarrollado dos ciclos de tomate tipo cereza (cv. Naomi, injertado sobre Maxiflor), cultivado en sacos de perlita (tipo B-12) orientados Norte-Sur a una densidad de 3,21 plantas/m². El sistema de riego usado ha sido goteo localizado. Las prácticas de cultivo han sido las habituales de la zona. El calendario de los ciclos ha sido:

- Ciclo I: El trasplante en ambos invernaderos se realizó el 23 de septiembre y se dio por finalizado en el invernadero A el 30 de junio con una duración total de 282 días, y en el invernadero B el 12 de julio con una duración de 294 días. El periodo de recolección, en el invernadero A, abarcó desde el 29 de diciembre hasta el final del ciclo (185 días), en el cual se realizaron 15 recolecciones. En el invernadero B la cosecha comenzó el mismo día que en el parral y duró hasta el 12 de julio (197 días), con un total de 16 recolecciones.
- Ciclo II: Las plantas se trasplantaron el 24 de septiembre en los dos invernaderos. En el invernadero A se dio por finalizado el cultivo el 30 de mayo con una duración de 249 días y en el invernadero B el 7 de junio con un total de 257 días. El periodo de recolección comenzó el 30 de diciembre y finalizó con el ciclo de cultivo en cada invernadero. En el invernadero A se practicaron 11 recolecciones en 152 días y en el B se practicaron 12 en 165 días.

Diseño estadístico

El diseño estadístico utilizado ha sido multifactorial con factores anidados y tres repeticiones, siguiendo la metodología descrita por Júdez (1991). El factor principal es el invernadero y el factor anidado el módulo (norte o sur) dentro de cada invernadero. El test discriminador de medias utilizado es el de la mínima diferencia significativa (Gómez y Gómez, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La climatología de cada año ha sido muy dispar. En el primer ciclo, el invierno fue excepcionalmente suave, alcanzando las temperaturas exteriores rara vez valores inferiores a los 10 °C. En el invernadero B las temperaturas mínimas nocturnas (figura 1) se mantuvieron por encima de los 14 °C establecidos como consigna. En el invernadero A, el sistema de calefacción por aire caliente mantuvo la temperatura por encima de 10 °C aunque con mayores fluctuaciones en torno al valor de consigna, resultados que coinciden con los obtenidos por Lopéz (2003). Durante la primavera, las temperaturas máximas diarias en el invernadero A (figura 1) estuvieron 5 °C por encima de las del invernadero B a partir del mes de marzo, llegando incluso a los 10 °C de diferencia al final del ciclo. El segundo ciclo se caracterizó por un invierno frío y riguroso, llegando a producirse heladas a cota a nivel del mar, seguido de una primavera más cálida. La lentitud de respuesta del sistema de calefacción por agua caliente del invernadero B ha hecho que, en algunos periodos, sólo se logre mantener 2 °C por debajo de la consigna establecida (14 °C). En el invernadero A sí se ha mantenido siempre por encima de la temperatura mínima (10 °C). La rentabilidad de los sistemas de calefacción en el área mediterránea ha sido cuestionada por algunos autores (Baille, 1999) y está siendo evaluada en los últimos años (López y col., 2003). Las temperaturas del sustrato y de la solución fueron similares. La primavera anormalmente suave hizo que los sistemas de refrigeración del paquete de alta tecnología no indujeran diferencias importantes entre los dos invernaderos.

En el primer ciclo, con una primavera típica, los sistemas de ventilación del invernadero B, junto a la pantalla de sombreo, consiguieron mantener el DPV (figura 1) por debajo del umbral prefijado (1,5 a 2 kPa), entre 15 días (ciclo 2) y un mes (ciclo 1) más que en el invernadero A, lo que ha permitido alargar el ciclo en el invernadero B. La mayor longevidad de las plantas en el invernadero B es el resultado de la combinación de dos efectos: el mantenimiento de temperaturas más elevadas durante la noche en invierno y, sobre todo, las menores temperaturas máximas en primavera. Sin embargo, las integrales térmicas acumuladas en los dos ciclos (para 245 días) han sido similares al compensarse las menores temperaturas mínimas del invernadero A durante el invierno con las mayores temperaturas de la primavera, alcanzados valores medios de 4777 y 4810 grados-día para los invernaderos A y B, respectivamente, en el primer ciclo, y de 5092 y 5149 grados-día en el segundo ciclo.

Las producciones comerciales de tomate, en el primer ciclo, han sido 11,43 kg/m² y los 11,91 kg/m² en los invernaderos A y B, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos (tabla 1). Tampoco se han encontrado diferencias en el segundo ciclo, alcanzando los 8,54 kg/m² y los 9,44 kg/m², respectivamente. El análisis de la producción precoz tampoco muestra diferencias entre invernaderos. Este resultado se justifica, en buena parte, por la capacidad del tomate para integrar temperatura en periodos superiores a 24 horas (Hanan, 1998). Otros estudios tampoco encontraron diferencias en rendimiento de judía, al calentar invernaderos plásticos a diferentes temperaturas de aire (López, 2003).

En el primer ciclo, la integral de radiación global alcanzó los 2.018 MJ/m² en el invernadero A frente a los 1.854 MJ/m² del B hasta que finalizó el ciclo en el invernadero A, si bien se alcanzaron los 2461 MJ/m² en el ciclo completo del invernadero B. En el segundo ciclo en el invernadero A se alcanzó los 1.983 MJ/m², en el invernadero B se llegó a los 1.816 MJ/m² para igual periodo, y en su ciclo completo 1.858 MJ/m² (tabla 2).

Esta pequeña diferencia radiactiva a favor del invernadero A se puede deber a que a la estructura «parral» típica de la zona, prácticamente plana, se le ha optimizado la pendiente de cubierta aumentándola hasta 27° respecto a la horizontal. La elección de este ángulo se debe a que estudios previos (Soriano, 2003) han demostrado que el invernadero prototipo que optimizaría el equilibrio transmisividad a la radiación solar/rendimientos económicos netos de la explotación (beneficios-costes), tendría unas pendientes próximas a los 30°. Este valor maximiza la transmisividad a la radiación en los meses invernales al disminuir el ángulo de incidencia a valores próximos a cero en fechas cercanas al equinoccio, y coincide con el señalado por Bailey y Richardson (1990) como pendiente óptima en invernaderos de cubierta plástica. El valor 27° facilita su construcción al precisar una diferencia de cota entre canal y cumbre de la mitad de la anchura del módulo. Cuanto mayor es la pendiente mayor resistencia presenta la cubierta para retener la suciedad, además de facilitar el lavado de lámina plástica tras el blanqueo. También hay que señalar que en el invernadero multitúnel, sobre todo en los meses invernales hasta más allá del mediodía solar, aparece una mayor condensación en la cubierta debido a su menor pendiente, las gotas formadas no escurren con rapidez, sino que permanecen en la lámina plástica, disminuyendo la transmisión a la radiación de la misma, aunque ya en la primavera empieza a desaparecer (Papadakis y col., 2000; Geola y col., 2000; Pollet y col., 2000; Pollet y col., 2001).

El coste total del invernadero B ha sido 2,5 veces superior al del invernadero parral. Los principales responsables de esta gran diferencia son los sistemas de calefacción por agua caliente, la ventilación forzada y la pantalla mixta, además del mayor coste de la estructura.

CONCLUSIONES

Con estos resultados preliminares, podemos concluir que no se obtuvieron incrementos productivos significativos en un ciclo invierno-primaveral de cultivo de tomate cereza al pasar de un paquete tecnológico sencillo a un segundo paquete sofisticado, mientras que la inversión necesaria y los consumos energéticos aumentaron notablemente. Es necesario continuar profundizando en esta línea de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el «Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agroalimentaria y Pesquera (IFAPA)» y el «Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)», «Caja Rural de Granada» (Proyecto INIA-RTA-03-096) y la Unión europea (FEDER). Nuestro agradecimiento a Abelardo y a todo el personal de la Finca Experimental «La Nacla» (Caja Rural de Granada).

Tabla 1. Producción comercial precoz y total de tomate tipo cereza en rama (kg/m²). La producción precoz incluye hasta la mitad de febrero

Ciclo		Invernadero	
		Parral	Multitúnel
1	Precoz	3,36 a	3,39 a
	Total	11,43 a	11,91 a
2	Precoz	3,07 a	3,11 a
	Total	8,54 a	9,44 a

Números dentro de la misma línea seguida por distinta letra indican la existencia de diferencias significativas ($P = 0,95$).

Tabla 2. Integrales de radiación global acumuladas (MJ/m²) en un invernadero multitúnel y en un invernadero parral mejorado

	d.d.t.	Radiación global (MJ/m ²)	
		Parral	Multitúnel
Ciclo I	222	2017,79	1.853,51
	266	–	2.460,91
Ciclo II	227	1983,17	1.815,76
	231	–	1.857,94

d.d.t.: Días después del trasplante.

Figura 1 y 2. Valores de temperaturas medias quincenales de las temperaturas máximas diarias y de las mínimas diarias en el interior del invernadero parral, del invernadero multitúnel y en el exterior

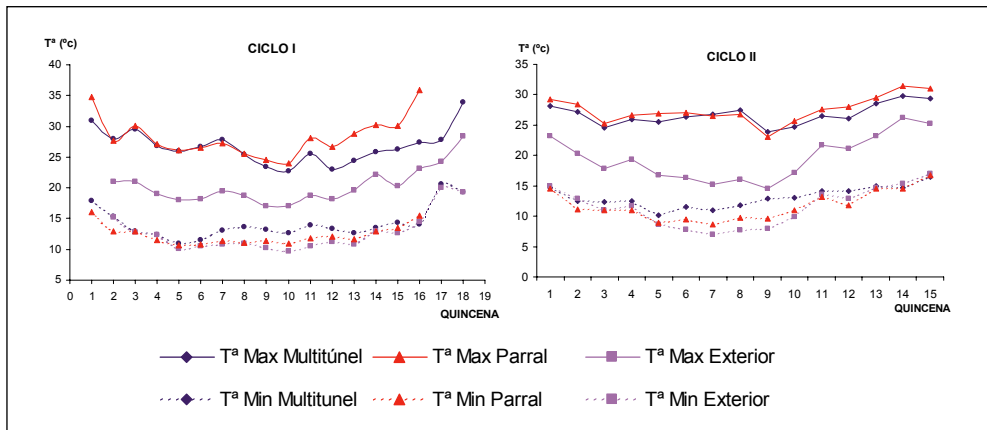
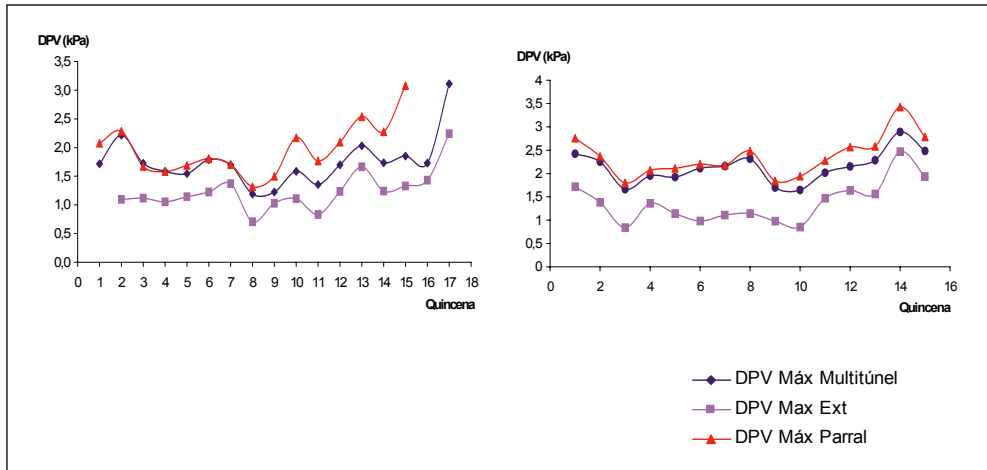


Figura 3 y 4. Promedio quincenal del DPV (déficit de presión de vapor, kPa) máximo diario en ambos invernaderos (Parral y Multitúnel) y en el aire libre, a lo largo de los dos ciclos (izquierda primer ciclo, y derecha segundo)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTÓN, A. y MONTERO, J.I. 2003. Life Cycle Assessment: a tool to evaluate and improve the environmental impact of Mediterranean greenhouses. *Acta Hort* 614, 35-40.
- BAILEY, B.J. y RICHARDSON, G.M. 1990. A rational approach to greenhouse design. *Acta Horticulturae* 281: 111-117.
- BAILLE, A. 1999. Energy cycle en: Stanhill, G.; Enoch, H.Z. (Eds). *Greenhouse ecosystems*. Elsevier. Amsterdam. Netherlands: 265-286
- . 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Hort.* 491: 37-34.
- CASTILLA, N. 1991. El cultivo forzado en España. SECH. En: Rayo, L. Y Núñez, F. *La horticultura española en la CEE*. Ediciones de Horticultura. Reus, España, 284-291.
- CASTILLA, N.; HERNÁNDEZ, J.; QUESADA, F.M.; MORALES, M.I.; GUILLÉN, A.; ESCOBAR, I. y MONTERO, J.I. 1999. Alternative asymmetrical greenhouses for the Mediterranean area of Spain. *Acta Hort.* 491: 83-86.
- CASTILLA, N.; MONTERO, J.I.; ANTÓN, A.; MORALES, M.I.; ESCOBAR, I.; SORIANO, T.; QUESADA, F.M. y HERNÁNDEZ, J. 2001. Mejora del nivel tecnológico de los invernaderos mediterráneos en España. *Actas de Horticultura* 35, 331-336.
- CASTILLA, N. 2002. Current situation and future prospects of protected crops in the Mediterranean region. *Act. Hort.* 582, 135-147.
- . 2005. *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Mundi-prensa. Madrid. 446 pp.
- GEOOLA, F.; KASHTI, Y. y PEIPER, U.M. 2000. Solar radiation transmissivity of greenhouses cladding materials. *Acta Horticulturae* 534: 109-116.
- GÓMEZ, K. y GÓMEZ, A. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. John Wiley and sons. New York. 680 pp.

- HANAN, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected cultivation. Ed. CRC Press. Boca Raton Florida. USA.
- JUDEZ, A. 1991. Notas sobre el diseño de experimentos con aplicación a la investigación con cultivos protegidos. En: López-Gálvez, J., Díaz-Álvarez, J.R. (ed). Curso Internacional sobre agrotecnia del cultivo en invernaderos. FIAPA-IFA: 345-410.
- LÓPEZ, J.C. 2003. Sistemas de calefacción en invernaderos cultivados de judía en el litoral Mediterráneo. Tesis doctoral. Univ. de Almería. Almería.
- LÓPEZ, J.C.; PÉREZ-PARRA, J. y BAILLE, A. 2003. Effects of Heating strategies on earliness and yield of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under «Parral» plastic greenhouses. Act. Hort. 614, 439-444.
- PAPADAKIS, G.; BRIASOULIS, D.; MUGNOZZA, G.S.; VOX, G.; FEUILLOLEY, P. y STOFFERS, J.A. 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. Journal Agricultural Engineering Research 71(1): 7-38.
- POLLET, I.V.; EYKEN, P.G.M. y PIETERS, J.G. 2000. PAR scattering by greenhouse covers and its effects on plant growth. Acta Horticulturae 534: 101-108.
- POLLET, I.V.; PIETERS, J.G. y DELTOUR, J.M. 2001. Transmission properties of dry and wet greenhouse cladding materials and relation to crop photosynthesis. Acta Horticulturae 559: 285-292.
- SORIANO, T.; MORALES, M.I.; CASTILLA, N.; ANTÓN, A.; MONTERO, J.I. y HERNÁNDEZ, J. 2003. Validation of a transmission model for asymmetrical greenhouses. Acta Hort. 614, 359-364.
- SORIANO, T.; MONTERO, J.I.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C.; MEDRANO, E.; ANTÓN, A.; HERNÁNDEZ, J.; MORALES, M.I. y CASTILLA, N. 2004. A study of solar radiation transmission in asymmetrical multi-span greenhouses using scale models and simulation models. Biosystems Engineering 88(2): 243-253.