

TECNOLOGÍA DE LOS INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS: ESTRUCTURAS Y CONTROL CLIMÁTICO

NICOLÁS CASTILLA

–IFAPA– Granada

INTRODUCCIÓN

La globalización de los intercambios ha aumentado la competitividad de las producciones hortícolas de invernadero en el área mediterránea, cuyo principal destino es la exportación a países europeos y ha resaltado la necesidad de obtener productos de alta calidad a costes competitivos (Castilla y Hernández, 2007).

En algunas regiones, como en la mediterránea, coexisten con el tradicional objetivo principal del invernadero, el «efecto invernadero» (incrementar la temperatura), otros como los efectos sombreo, cortavientos u oasis (Castilla, 2007).

El material de cubierta generalizado en los invernaderos del Mediterráneo es la lámina plástica, de polietileno (PE) principalmente. El bajo coste de los invernaderos ha permitido un enorme crecimiento de su superficie en los últimos decenios, superando las 200.000 has en 2006, de las que más de 53.800 has se encuentran en España (Castilla y Hernández, 2005).

AGROSISTEMAS DE INVERNADERO

Para una determinada localización, las condiciones climáticas locales deben ser determinantes del tipo de invernadero y equipamiento a elegir para la viabilidad de la producción en invernadero en esa ubicación.

En el norte de Europa, el «agrosistema invernadero holandés o nórdico» se caracteriza por un elevado nivel tecnológico (invernaderos de vidrio), muy equipado y costoso, resultando ser un gran consumidor de energía. Por el contrario, el «agrosistema invernadero mediterráneo» es de bajo nivel tecnológico, poco equipado, más barato y con un limitado consumo energético.

Entre estos dos agrosistemas, cuyos costes de construcción ocupan las posiciones extremas, existen multitud de grados intermedios, con diversos niveles tecnológicos de equipamiento.

Las producciones son mayores en el «agrosistema invernadero holandés», pero sus costes de producción también lo son (tabla 1). Sin embargo, sus costes de transporte a los mercados europeos son menores (por estar más próximos) que los de origen mediterráneo, lo que permite que ambas producciones estén presentes en los mercados (tabla 1).

Desde el punto de vista energético, se ha estimado que los consumos de energía para cultivo y transporte a mercado por kilo de tomate, pimiento y pepino son 13, 14 a 17 y 9 veces superiores, respectivamente, en Holanda que en España (Van der Velden *et al.*, 2004).

Tabla 1. Costes del tomate convencional, del pimiento corto (tipo California) y del pepino largo en invernadero, para los mejores productores de Holanda y España (1996). Invernadero de vidrio climatizado en Holanda e invernadero de plástico sin calefacción en España. Los costes en mercado se refieren al mercado alemán (Francfort). Envases de un solo uso. (Adaptado de Verhaegh, 1988; Verhaegh *et al.*, 2000; Castilla, 2007)

Cultivo	País	Cosecha (kg/ m ²)	Costes (euros/kg ⁻¹)	
			Producción	Mercado
Tomate	España	18-20	0,26-0,27*	0,53-0,62
Tomate	Holanda	58-60	0,55**	0,73
Pimiento otoño	España	6,2-6,6	0,52-0,57	0,94-0,98
Pimiento primavera	España	8,0-12,0	0,29-0,30	0,70-0,71
Pimiento	Holanda	23,0-27,0	1,18	1,50
Pepino otoño	España	9,5-12,5	0,20-0,23	0,49-0,52
Pepino	Holanda	65,0	0,49	0,65

(*) sin clasificar

(**) clasificado

DEMANDAS DEL MERCADO

Hoy día, el consumidor es exigente y poco fiel, está bien informado y muy interesado en la calidad. Sus hábitos de compra han evolucionado, influenciados por las nuevas características socioeconómicas del mercado (Castilla y cols., 2004). La producción hortícola, cada vez más basada en las demandas del mercado, debe ajustarse a unos estándares de producción definidos, lo que implica seguir detallados protocolos de cultivo y manejo post-cosecha, asegurando su trazabilidad. Además de su alta calidad, las producciones hortícolas deben llevarse a cabo con bajo impacto ambiental, de modo higiénico y seguro para el productor, para cubrir las expectativas de los consumidores. En los países desarrollados, destino prioritario de la exportación, estas demandas son cada vez más determinantes en la elección de los productos hortícolas de calidad. Además, requieren su suministro durante todo el año.

El enorme poder de las cadenas de distribución agroalimentaria de frutas y hortalizas frescas ha obligado a los productores a agruparse y adaptarse a las demandas de sus clientes.

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN EN INVERNADERO

La producción de hortalizas durante todo el año puede abordarse, básicamente, mediante dos estrategias: A) Producir en invernaderos de alta tecnología todo el año. B) Producir en dos o más ubicaciones, cuyas épocas de recolección se complementen en el año.

La alternativa A ha sido adoptada en el «agrosistema invernadero holandés». Esa opción A sería económicamente inviable en condiciones mediterráneas. La alternativa B puede llevarse a cabo con distintos agrosistemas.

Por ejemplo, algunos productores holandeses coordinan sus suministros al mercado, produciendo en invernaderos sofisticados de vidrio en Holanda y en invernaderos mediterráneos en la costa sureste española (Castilla y Hernández, 2007). Una solución similar es la coordinación de la producción en invernaderos mediterráneos en la costa andaluza, de otoño a primavera, con la procedente de invernaderos de malla, en verano, de las altiplanicies de comarcas del interior. Algunos productores han optado, aunque la solución dista de ser óptima, por intercambiar la cubierta de lámina plástica de sus invernaderos por una cubierta de malla, cuando las condiciones climáticas lo requieren en pro de la calidad de la producción.

EL «AGROSISTEMA INVERNADERO MEDITERRÁNEO»

El material de cerramiento del invernadero mediterráneo es mayoritariamente la lámina de plástico, principalmente de polietileno (PE). La lámina de PE convencional fue desplazada por la de PE de larga duración (UV, ultravioleta) y de polietileno térmico (IR, infrarrojo). Hoy se están extendiendo las láminas multicapa, principalmente la tricapa (PE-EVA-PE), que reúne en una lámina las diversas ventajas que aporta cada capa (gran transmisividad a radiación solar, efecto térmico, difusión de luz, antigoteo, ...). Otros materiales, como los fotoselectivos (que pueden ser de interés por su influencia en la movilidad y desarrollo de plagas y enfermedades), o los llamados «inteligentes» (fluorescentes, escudos térmicos, ...) están muy poco extendidos.

En el «agrosistema invernadero mediterráneo» cabe distinguir entre invernaderos de estructura artesanal, cuyo representante más genuino es el invernadero tipo parral, y los de estructura industrial, prácticamente limitados al tipo multitúnel, que resulta más costoso pero permite mayor hermetismo y aislamiento que los artesanales.

El aumento de la radiación de los invernaderos tipo parral en otoño e invierno ha motivado el desarrollo de prototipos de bajo coste con mayores pendientes de cubierta, tipo parral (ángulos de 27°/27°), que además permiten la evacuación de las gotas de agua condensada en la cara interior de la cubierta. El uso de láminas de plástico difusoras de la luz y la mayor altura de las estructuras, que además conlleva un menor ancho de los módulos, han permitido mejorar la uniformidad de radiación en los invernaderos orientados este-oeste, orientación que maximiza la radiación interior en otoño e invierno (Castilla, 2007).

Los intentos de optimizar la interceptación de radiación por el cultivo llevaron a introducir el acolchado blanco reflectante en cultivo sin suelo. Posteriores estudios han demostrado que su empleo es contraproducente si no se utiliza calefacción, por limitar la temperatura de suelo en otoño e invierno (Lorenzo y cols., 2005), lo que resalta la necesidad de estudiar y adaptar las tecnologías foráneas antes de adoptarlas (Castilla y cols., 2004).

El empleo de mallas para cubrir estructuras, tradicionalmente empleadas como umbráculos en viveros, se está extendiendo para cultivos convencionales de hortalizas. En las comarcas del interior peninsular, a cotas altas, el cultivo en invernadero de malla está constituyendo una opción de interés (Soriano *et al.*, 2006).

CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS

La limitación de temperaturas máximas y subsiguiente mejora de la humedad ambiental en invernaderos mediterráneos suele normalmente conseguirse mediante ventilación natural (pues la ventilación forzada es inexistente), reducción de radiación o evaporando agua (a través del cultivo por evapotranspiración –ET– o nebulizando agua, pues no existen instalaciones del llamado «cooling» que emplea paneles húmedos y ventiladores).

La superficie de ventanas (laterales y cenitales) para una ventilación natural eficiente debe ser del 15 al 30% de la superficie del invernadero, si bien la presencia de mallas anti-insectos en las ventanas puede implicar la necesidad de aumentar su superficie. Hoy día, diversos estudios de modelización y simulación, con diversas técnicas (CFD, visualización de flujos, ...) están consiguiendo importantes avances en el diseño de tipos de ventanas, orientación, ubicación, ... (Castilla, 2007).

La técnica generalizada para reducir radiación es el blanqueo de la cubierta, mucho más empleada que el sombreo con mallas (interiores o exteriores).

El control de la humedad ambiental en invernaderos sin calefacción se limita al manejo de la ventilación y de la nebulización (si existe instalación al efecto) o a medidas indirectas, como el uso de acolchado de suelo o regar adecuadamente.

En invernaderos calefactados, la reducción de humedad calentando y ventilando es muy efectiva pero resulta costosa.

El control de temperaturas mínimas puede llevarse a cabo mediante pantallas térmicas (usualmente poco sofisticadas), empleando doble cubierta (simple o inflada, esta última muy infrecuente) o con calefacción.

La calefacción está poco extendida, siendo los sistemas de aire caliente más empleados que los de agua, tanto a baja como a alta temperatura. La rentabilidad de su empleo es cuestionable y depende mucho de cada caso concreto.

Mantener unos niveles adecuados de CO₂ (dióxido de carbono) es difícil de conseguir, incluso con invernaderos bien ventilados. El abonado carbónico es muy poco usado y su manejo debe coordinarse con la ventilación (Sánchez-Guerrero y cols., 2005). El empleo de ventiladores de desestratificación dentro de invernadero puede contribuir a mejorar el aporte de CO₂ a los estomas de las hojas, para mejorar la fotosíntesis y, en consecuencia, la bioproductividad.

Es necesario conocer la respuesta de los cultivos, tanto técnica como económicamente, al manejo de los diversos equipos de control climático en las condiciones locales, lo que resalta el interés de llevar a cabo programas específicos para generar esa información y transferirla al sector productor.

La automatización del control climático es, hoy día, simple en los escasos invernaderos que disponen de equipos al efecto. Tan sólo algunas instalaciones de fertirriego están automatizadas en grados diversos.

COSTE DE LOS PAQUETES TECNOLÓGICOS DE INVERNADEROS

Entendiendo como «paquete tecnológico de invernadero» al conjunto de estructura y equipos de control que caracterizan un tipo de invernadero, la tabla 2 recoge la inversión media necesaria en el sur de España para tres niveles de «paquetes tecnológicos de invernadero». Sin incluir coste del suelo, sus valores oscilan entre 10,7 y 42,0 euros/m².

Como contraste, la figura 1 refleja el coste de «paquetes tecnológicos de invernadero» en Marruecos, Grecia, España, Italia y Holanda (Castilla y Hernández, 2007).

Tabla 2. Inversión media para tres «paquetes tecnológicos de invernadero» en el sur de España (en 2006)

NIVEL 1	Invernadero parral baja pendiente cubierta Sistema de riego por goteo	8,5 euros/m ² 2,2 euros/m ² TOTAL 10,7 euros/m ²
NIVEL 2	Invernadero parral alta pendiente cubierta Sistema de riego por goteo Sistema de calefacción de aire	11,3 euros/m ² 2,2 euros/m ² 3,1 euros/m ² TOTAL 16,6 euros/m ²
NIVEL 3	Invernadero multitúnel Sistema de riego por goteo Sistema de calefacción (agua-tubo metálico) Ventiladores (desestratificación) Nebulización (baja presión) Pantalla (térmica y de sombreado)	18,0 euros/m ² 2,2 euros/m ² 13,6 euros/m ² 1,2 euros/m ² 2,0 euros/m ² 5,0 euros/m ² TOTAL 42,0 euros/m ²

Fuente: I. Escobar. Ref: Castilla (2007).

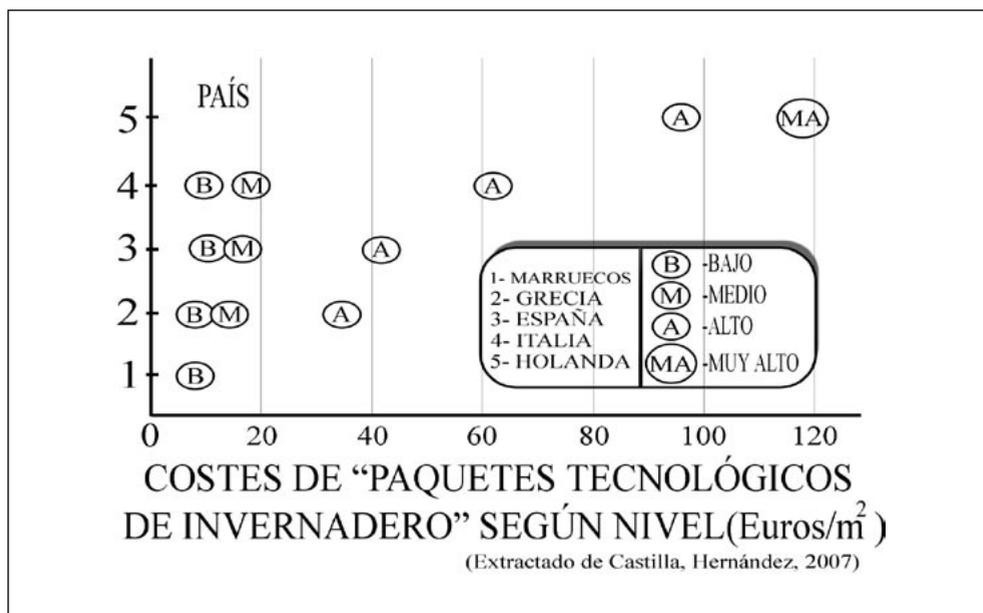
CONSIDERACIONES FINALES

Los mercados de productos hortícolas están cada vez más globalizados y competitivos. Los consumidores requieren productos de alta calidad, saludables y seguros a lo largo de todo el año y que sean producidos con mínimo impacto ambiental de modo seguro e higiénico.

Para conseguirlo caben diversas estrategias de producción, optando entre diversos «paquetes tecnológicos de invernaderos», desde los muy sofisticados hasta los más simples, como ocurre en el área mediterránea. La ubicación de los invernaderos es clave para su viabilidad económica, no sólo por las condiciones climáticas sino también por la distancia a los mercados.

Una producción rentable requerirá un compromiso entre las diversas opciones técnicas disponibles, dependiendo de las condiciones concretas de cada caso.

Figura 1. Costes de «paquetes tecnológicos de invernadero» (estructura y equipamiento) según su nivel tecnológico (bajo, medio, alto o muy alto) en diversos países (Marruecos, Grecia, España, Italia y Holanda). Los datos de Holanda están referidos a invernadero de vidrio (alto es el tipo Venlo estándar totalmente equipado; muy alto es el anterior con iluminación suplementaria). Los datos de los restantes países están referidos a invernaderos de lámina plástica (bajo, medio y alto se corresponden con los niveles 1, 2 y 3, respectivamente, de tabla 2).



BIBLIOGRAFÍA

- CASTILLA, N. 2007. Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- CASTILLA, N.; HERNÁNDEZ, J.; ABOU-HADID, A.F. 2004. Strategic crop and greenhouse management in mild winter climate areas. ISHS International Horticultural Congress. Symposium-16. Toronto. Canada. Acta Horticulturae, 633: 183-196.
- CASTILLA, N.; HERNÁNDEZ, J. 2005. The plastic greenhouse industry of Spain. Chronica Horticulturae, 45(3): 15-20.
- . 2006. Greenhouse technological packages for high-quality crop production. International Horticulture Congress, Seoul, Korea, Invited paper Symposium 06: Advances in Environmental Control, Automation and Cultivation Systems for Sustainable, High-Quality Crop Production under Protected Cultivation. Acta Horticulturae, 761: 285-297.
- LORENZO, P.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C.; MEDRANO, E.; SORIANO, T.; CASTILLA, N. 2005. Responses of cucumber to mulching in an unheated plastic greenhouse. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80(1): 11-17.

- SÁNCHEZ-GUERRERO, M.C.; LORENZO, P.; MEDRANO, E.; CASTILLA, N.; SORIANO, T.; BAILLE, A. 2005. Effect of variable CO₂ enrichment on greenhouse production in mild winter climates. *Agriculture and Forest Meteorology*, 132: 244-252.
- SORIANO, T.; MORALES, M.I.; SUÁREZ-REY, E.; ESCOBAR, I.; HITA, O.; ROMACHO, I.; HERNÁNDEZ, J.; CASTILLA, N. 2006. Comparación de dos paquetes tecnológicos para invernaderos mediterráneos con cultivo de tomate tipo cereza. *Jornadas del Grupo de Horticultura de la SECH (Sociedad Española Ciencias Hortícolas)*. *Actas de Horticultura*, 46: 1-4.
- VAN DER VELDEN, N.J.A.; JANSEN, J.; KAARSEMAKER, R.C.; MAASWINKEL, R.H.M. 2004. Sustainability of greenhouse fruit vegetables: Spain versus the Netherlands; Development of a monitoring system. *Acta Horticulturae*. 655:275-281.
- VERHAEGH, A.P. 1988. *Kostprijzen tomaat, komkommer en paprika in Nederland en Spanje*. Mededeling 614. LEI-DLO. Den Haag. Holland.
- VERHAEGH, A.P.; DE GROOT, N.S.P. 2000. Chain production costs of fruits vegetables: A comparison between Spain and the Netherlands. *Acta Horticulturae*, 524:177-180.