

Grandes avances en equipos y tecnología para invernaderos

Sólo en Almería, la industria auxiliar de la agricultura genera un negocio de más de 1.000 Meuros

Actualmente la tecnificación de los invernaderos se está produciendo de forma espectacular. Se controla por ordenador el clima del invernadero, el aporte de agua y nutrientes, y algunos de los parámetros biológicos del cultivo que permiten determinar el estado hídrico del mismo y detectar situaciones de estrés hídrico y ambiental. Por otro lado, aparecen en el mercado máquinas diseñadas específicamente para su uso en invernaderos, que permiten agilizar y facilitar las labores culturales.

También se gestionan informáticamente los tiempos de trabajo de las labores realizadas por cada trabajador de la explotación.

En este artículo se describen brevemente los nuevos equipos y tecnologías disponibles comercialmente para su aplicación en invernaderos.

D.L. Valera, F.D. Molina, A. Peña, J. Gil y J.A. López.

Departamentos de Ingeniería Rural de las Universidades de Almería y Córdoba.

Las empresas dedicadas a este sector se encuentran en pleno auge, sólo en la provincia de Almería la industria auxiliar de la agricultura genera un negocio superior a los mil millones de euros y está en proceso de creación un parque tecnológico "TECNOVA" que con participación de empresas y centros de investigación trata de aglutinar y facilitar este proceso. Este esfuerzo de incorporación de tecnología tiene que acompañarse de otro relativo a la concentración de la oferta hortofrutícola para, de esta manera, rentabilizar las elevadas inversiones necesarias.



Figura 1. Carretilla elevadora en invernadero multitúnel.

Estructuras de invernaderos

Como consecuencia de la próxima aparición de normas europeas sobre la construcción de invernaderos y de las ya aplicables en España como la UNE 76-208/92, deberán modificarse los invernaderos, de forma que las estructuras sean más seguras frente a la acción eólica y permitan un mayor control del clima.

Se ha producido un progresivo abandono de las estructuras tradicionales tipo "parral", actualmente se construyen derivaciones mejoradas de los invernaderos convencionales, con mayor pendiente en la cubierta y gran altura. Por otro lado, se instalan invernaderos procedentes de otros países europeos, como son los de tipo

"multitúnel" utilizados en Francia y los invernaderos de cristal tipo "Venlo" procedentes de Holanda. Las nuevas estructuras son más herméticas y poseen mayor separación entre apoyos, por lo que permiten incorporar nuevos equipos y tecnologías, y así controlar parámetros ambientales y mecanizar las labores culturales.

El invernadero "multitúnel", también llamado de tipo industrial, se caracteriza por la forma semicilíndrica de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. Este tipo de invernadero se está extendiendo en la actualidad, fundamentalmente por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, y por su precio intermedio entre las estructuras tradicionales y los invernaderos de cristal. Los actuales modelos están constituidos en su totalidad por tubos de acero galvanizado, en su mayor parte de sección cilíndrica, con diámetros entre 25 y 60 mm y con espesores de 1,5-3 mm. La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante tornillos y bridas o abrazaderas, conformadas en frío mediante corte y prensado de chapas galvanizadas con espesores de 1,5-2,5 mm. El plástico se sujeta a la estructura mediante unos perfiles denominados "omegas", debido a la forma de su sección. Los extremos del plástico se introducen en la parte hueca de la pieza y se sujetan mediante tacos de polietileno que ejercen una fuerte presión en la parte interna del perfil metálico.

Los túneles presentan anchuras que varí-



Figura 2. Equipo de fertirrigación.

an de 6,5 a 9 m y la separación entre apoyos bajo las canales suelen ser de 4 ó 5 m. El marco más utilizado en la actualidad es de 8x5 m de separación de los soportes interiores. La altura máxima en cumbrera de este tipo de invernaderos oscila entre 4,5 y 6 metros y en las bandas laterales y bajo canal se adoptan alturas de 3 a 4 m. Disponen de amplios pasillos por los que pueden circular máquinas como carretillas elevadoras (**Fig. 1**) y otros medios de transporte.

Muchos de los invernaderos de este tipo se construyen con cubierta rígida de policarbonato ondulado en el perímetro, por lo que presentan una mayor resistencia al viento en los laterales y frontales, donde los esfuerzos son mayores. La cubierta es de polietileno de baja densidad, similar a la utilizada en los invernaderos convencionales.

Los invernaderos de tipo "Venlo", o de cristal, están siendo introducidos en el sudeste peninsular en las dos últimas campañas agrícolas por empresas holandesas. Estos invernaderos disponen de una sólida estructura metálica capaz de soportar el elevado peso de las placas de vidrio que constituyen los cerramientos. El espesor del vidrio es estándar de 4 mm. La cubierta presenta una forma de capilla múltiple con una inclinación de 22° en la mayoría de los casos. Mediante la utilización de vigas de celosía se consigue aumentar la anchura de los módulos, generalmente entre 6,4 y 12 m. El problema esencial de este tipo de invernaderos es su elevado coste, que está en otro orden de magnitud que los tradicionales "parrales" y los de tipo industrial o "multitúnel".

Equipos de fertirrigación

En la actualidad las modernas instalaciones de fertirrigación (**Fig. 2**) se controlan por ordenador, con sistemas de diseño específico dotados de microcontroladores o mediante autómatas programables (controladores), y el aporte de nutrientes se realiza en función de las necesidades del cultivo. Se busca optimizar al má-

ximo la absorción de los elementos nutritivos por parte de la planta. Estos equipos intentan mantener un nivel de pH ligeramente ácido en el agua de riego de forma que los elementos

nutritivos presenten una mejor solubilidad. Para ello es necesaria la aplicación de ácidos correctores (nitrítico, sulfúrico, fosfórico, etc.). También se controla la conductividad eléctrica (CE), que es proporcional a la concentración de la disolución nutritiva en la que se incluyen los fertilizantes. Tanto la CE como el pH del agua se miden por medio de sensores electrónicos, al igual que la temperatura del agua, que es necesaria para corregir el valor de la conductividad. En determinadas zonas es necesario instalar desaladoras en las explotaciones (**Fig. 3**), debido a la mala calidad del agua y a la excesiva salinidad. Generalmente son instalaciones de ósmosis inversa, que depuran el agua y posteriormente la mezclan (desalada con la procedente del

sondeo sin tratar) antes de incorporarla al sistema de riego.

En estos equipos automáticos se utilizan tanto sistemas de venturis como bombas de inyección. En ambos casos la inyección se gestiona mediante electroválvulas, que se abren cuando reciben el impulso eléctrico desde el automatismo controlador. La inyección se realiza por pulsos eléctricos del orden de milisegundos, de forma que la abertura se va realizando sucesivamente hasta que la lectura de los parámetros de control, CE o pH, se ajustan al valor deseado.

El aporte de agua se puede regular determinando el tiempo necesario de riego para aportar un volumen estimado o en función de las necesidades de la planta (riego a la demanda). En los cultivos en enarenado se suele utilizar el riego horario, en el que el agricultor calcula el tiempo de riego que es necesario cada día en función del estado fisiológico de la planta, del estadio fenológico y del clima. El riego a la demanda se puede realizar en función de sensores climáticos de forma que se establecen los valores críticos de temperatura o humedad a partir de los cuales se hace necesario el riego. También se pueden utilizar tensiómetros para determinar las necesidades de riego, aunque este sistema requiere una correcta determinación de la



Figura 3. Desaladora.



Figura 4. Carro eléctrico de tratamientos.

posición de los tensiómetros con respecto a la zona radical de las plantas y una buena distribución dentro del invernadero, para evitar los errores que provoca la heterogeneidad del terreno.

Los equipos automáticos de fertirrigación permiten seleccionar una serie de programas, tanto para riego horario como riego a la demanda. En el primer caso se pueden determinar parámetros como la duración de los riegos, los sectores que se riegan, el pH, la CE y los porcentajes de fertilizantes. La programación de los riegos se puede realizar en función de la hora de inicio o de finalización, el número de riegos al día, o el periodo que transcurre entre los riegos.

El riego a la demanda se limita prácticamente a los invernaderos con cultivos hidropónicos en los que se pueden determinar de forma más exacta las necesidades de las plantas. Debido a la sensibilidad de este sistema de cultivo a los fallos es necesario un control exhaustivo de todos los parámetros, así como del suministro eléctrico, por lo que se hace necesaria la instalación de grupos electrógenos.

Nuevos sensores electrónicos y máquinas agrícolas

Actualmente existen sistemas de medida de parámetros biológicos del cultivo que permiten determinar el estado hídrico del cultivo y detectar situaciones de estrés, tanto por falta de riego como por condiciones ambientales extremas. Estos sistemas han sido utilizados experimentalmente y, ahora, comienzan a introducirse en los invernaderos comerciales como herramienta muy útil para evaluar el efecto que las acciones realizadas por los sistemas automatizados de gestión de la fertirrigación y del clima producen en las plantas. Entre los principales parámetros utilizados destacan la temperatura del cultivo, el flujo de savia y las variaciones del diámetro del tallo y del fruto.

La diferencia entre la temperatura de cultivo y la temperatura del aire puede usarse como criterio para la detección del estrés hídrico. Esta diferencia, y los índices del estrés derivados, pueden ayudar en el manejo de los sistemas de control climático como las mallas de sombreado, la ventilación o los sistemas de nebulización. Las microvariaciones del diámetro del tallo dan una información útil sobre el estado hídrico y el crecimiento de las plantas. Estos datos pueden usarse junto a modelos de la evapotranspiración, no sólo para perfeccionar la programación del riego, sino para optimizar las consignas del control climático.



Figura 5. Máquina móvil de tratamientos por nebulización.



Figura 6. Carro autopropulsado con plataforma elevadora.

Los sensores de flujo de savia se basan en la medida de la variación de la pérdida de energía al aplicar en la proximidad de la corriente de savia bruta, una fuente de calor constante. Esta alteración en la disipación de calor se produce como consecuencia del aumento o disminución del flujo de savia que pasa por el tallo y que actúa como fluido refrigerante. La medida del flujo de savia permite estimar de forma muy exacta la tasa de transpiración del cultivo. Su valor sigue una evolución diaria estrechamente ligada a la de la radiación solar, con valores máximos en torno al mediodía y mínimos durante la noche. Las situaciones de estrés hídrico se detectan por caídas anormales de la medida del flujo de savia.

Para la realización de los tratamientos fitosanitarios se utilizan los carros eléctricos autopropulsados (Fig. 4) dotados de barras verticales de pulverización, que se desplazan sobre las tuberías del sistema de calefacción y poseen control automático de la distancia a recorrer en cada línea de cultivo, evitando así la proximidad del operario a la zona tratada. Además, su velocidad de desplazamiento constante les permite mantener una buena uniformidad en el tratamiento. Cuando no se dispone de los rieles que permiten el guiado automático, se pueden utilizar equipos muy compactos y de pequeño tamaño, dotados de ruedas neumáticas y con transmisiones hidráulicas que les permiten una gran maniobrabilidad.

También se empiezan a utilizar sistemas de nebulización a ultrabajo volumen. Esta técnica consiste en equipos de ventiladores que producen una circulación de aire dentro del invernadero creando un flujo continuo. Los ventiladores están provistos de una boquilla por la que se inyecta el líquido (con un caudal de aplicación aproximado de 2-3 l/h) de tratamiento que se mezcla con el aire produciendo una nebulización de microgotas (5-20 mm). Este sistema permite una distribución uniforme del tratamiento en forma de niebla que impregna todas las zonas del cultivo, disminuyendo el riesgo de un aporte excesivo de producto que pueda quemar las hojas o frutos. Este método posibilita la realización de tratamientos fitosanitarios de forma automatizada, sin la actuación de operarios, con la consiguiente eliminación de riesgos. Esto permite la programación de los tratamientos para que se realicen al anochecer, evitando así las altas temperaturas diurnas, lo que aumenta su efectividad. La nebulización disminuye la cantidad de producto necesaria por unidad de superficie. Un ventilador permite cubrir una superficie máxima de 5.000 m². Existen tanto equipos fijos,

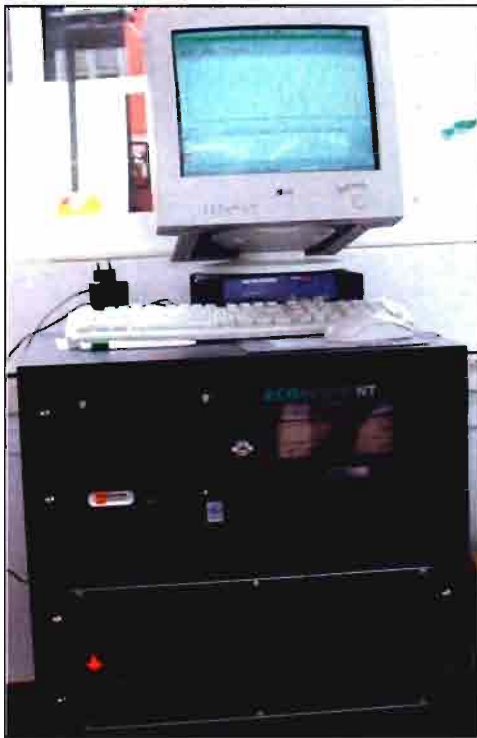


Figura 7. Control climático por ordenador.

acoplados a la estructura del invernadero, como máquinas móviles (Fig. 5) desplazables a los distintos módulos de invernadero de la explotación.

Para facilitar las labores culturales, las modernas explotaciones disponen de carros eléctricos autopropulsados con plataforma elevadora mediante cilindros hidráulicos (Fig. 6). Normalmente estas máquinas se desplazan utilizando como raíles las tuberías del sistema de calefacción, aunque también existen modelos con ruedas neumáticas. La altura de la plataforma sobre la que se sitúa el operario es ajustada por éste en función de la zona de la planta donde ha de realizar la labor, evitando posiciones incómodas que dificultan su trabajo y disminuyen el rendimiento. La utilización de estos sistemas permite aumentar el volumen de invernadero utilizado por las plantas, aprovechando así la mayor altura de los nuevos tipos de estructuras.

Sistemas de control climático

Permiten mejorar la producción tanto en calidad como en cantidad, modificar los periodos de recolección y experimentar con nuevos cultivos. Para el control ambiental de los invernaderos es necesario modelar su comportamiento, teniendo en cuenta la diversidad de tipos de estructuras y esencialmente de sistemas de refrigeración y calefacción. Igualmente hay que considerar los factores que intervienen, tales como: la penetración de la luz, las transferencias de masa y energía y el



Figura 8. Invernadero tipo "rasca y amagado" con ventilación forzada.

propio crecimiento y desarrollo del cultivo.

En los invernaderos tradicionales como los del tipo "rasca y amagado" se utilizan pequeños controladores (autómatas programables) que regulan, por ejemplo, la apertura y cierre de ventanas (o el funcionamiento de los extractores) en función de la temperatura y de la humedad. En instalaciones más sofisticadas, con modernas estructuras tipo "multitúnel" o "Venlo", se utilizan programas informáticos de gestión del clima (Fig. 7), que integran todos los parámetros climáticos y todos los elementos que actúan: ventanas cenitales y laterales, ventilación forzada, nebulización,

calefacción, inyección de CO₂, etc. Registran toda la información y la presentan en forma de gráficas que permiten el estudio pormenorizado de todo lo ocurrido en el invernadero.

La ventilación suele ser insuficiente en la mayoría de los invernaderos, lo que provoca desajustes perjudiciales en la temperatura, humedad y composición del aire. El uso frecuente de mallas contra insectos para cubrir las aberturas de ventilación supone un obstáculo adicional a los intercambios de aire. Por todo ello se está produciendo una expansión del uso de ventilación forzada, mediante extractores, en los invernaderos de la cuenca mediterránea (Fig. 8).

Se utilizan frecuentemente sistemas de evaporación de agua tanto para refrigerar el invernadero como para aumentar la humedad relativa. Los más extendidos son las boquillas de nebulización (Fig. 9) y en menor medida, las pantallas evaporadoras.

La nebulización o "fog" consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10 mm. Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos. Al evaporarse enfrían el ambiente. El elemento más delicado de todo el conjunto es la boquilla de nebulización, pues de su diseño depende la calidad de la instalación. La boquilla recibe agua a presión, la divide en gotas minúsculas y las dispersa a corta distancia. El movimiento natural del aire redistribuye la humedad. También pueden usarse ventiladores que fuerzan una corriente de aire y mejoran el alcance de las gotas. Las boquillas se conectan a tuberías timbradas instalando generalmente una boquilla por cada 6-8 m² de invernadero. El equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada ya que las boquillas pueden obstruirse fácilmente. Las boquillas de alta presión (40 y 60 kg/cm²) producen gotas pequeñas, de las que el 95% son menores de 20 mm de diámetro. Las boquillas de baja presión utilizan agua a presiones comprendidas entre 3 y 6 kg/cm². Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a presión.

Las pantallas evaporadoras poseen un material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se sitúa



Figura 9. Invernadero con el sistema de nebulización activado.

a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores extractores de aire. El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe humedad y al evaporarse en el interior del invernadero, baja su temperatura. El principal problema de este sistema son los gradientes importantes de temperatura que genera, debidos a la excesiva anchura de las instalaciones, a veces muy superior a los 30 ó 35 metros recomendados.

Los sistemas de calefacción más utilizados en invernaderos son los generadores de aire caliente de combustión directa y la calefacción mediante tuberías de agua caliente. Los primeros son equipos con un alto rendimiento en los que se quema un combustible (propano o gas natural), introduciendo en el ambiente aire caliente y los gases resultantes del proceso de combustión (**Fig. 10**). Están provistos de un quemador y un ventilador de gran capacidad (de 3.000 a 6.000 m³/h) lo que les permite tener una gran potencia térmica (50.000-80.000 kcal/h).

En las zonas de climas muy fríos o cuando se desea incrementar la temperatura ambiente durante pe-



Figura 10. Generadores de aire caliente.



Figura 11. Caldera de calefacción por agua caliente.

mentar la concentración del citado gas en el interior de los invernaderos. El enriquecimiento carbónico mediante la incorporación de CO₂ puro (**Fig. 12**) es el procedimiento más utilizado y la fuente más controlable de incorporación de dióxido de carbono. El equipo necesario consta principalmente de un depósito donde se almacena el CO₂ en estado líquido, un conjunto de vasos de expansión donde el líquido se transforma a su estado gaseoso por medio de una disminución de presión, un sistema de tuberías primarias y las tuberías de distribución junto al cultivo. Las tuberías pueden ser tanto cintas de riego con goteros insertados de 1 l/h o mediante mangas flexibles de polietileno transparente. Estas tuberías se ramifican por todo el invernadero distribuyendo el gas en la base de las plantas.

El enriquecimiento carbónico se lleva a cabo en función de una estrategia de suministro. El caso más sencillo es el suministro de CO₂ a una tasa o concentración constante dependiendo del porcentaje de abertura de las ventanas. Otras estrategias más sofisticadas se basan en principios fisiológicos y económicos que consideran que las concentraciones entre 700 y 1.000 ppm están

dentro de unos niveles fisiológicamente óptimos para el crecimiento y producción de las especies hortícolas.

Una estrategia muy utilizada en los invernaderos que disponen de sistemas de abonado carbónico es la de inyectar CO₂ a 700 ppm cuando las ventanas están completamente cerradas, y a 350 ppm cuando están abiertas.

Por último destacar el uso de mallas como técnica de control climático en invernaderos, tema tratado ampliamente en el número 139 de la revista **Vida Rural**.

Como conclusión, se puede destacar que existen interesantes paquetes tecnológicos disponibles a nivel comercial, para su incorporación inmediata en las modernas estructuras de invernaderos, capaces de gestionar múltiples aspectos del proceso productivo. No obstante, su incorporación debe analizarse con precaución en cada caso particular, debido a la importante inversión necesaria, que debe justificarse con ciertas garantías de rentabilidad. En una economía cada vez más globalizada es imprescindible introducir nuevas tecnologías al invernadero, muchas de ellas importadas de otros países, pero las consignas de incorporación y gestión de los equipos no son extrapolables de unas zonas a otras. ■



Figura 12. Depósito y gasificador de anhídrido carbónico.

riodos de tiempo prolongados se hace necesaria la instalación de sistemas de calefacción por medio de agua caliente. En una caldera (**Fig. 11**) se produce el calentamiento de agua mediante quemadores de gas propano, gasoil o fuel. El agua caliente se distribuye mediante un sistema de tuberías por todo el invernadero retornando a la caldera tras haber cedido parte de su calor. Al estar las tuberías de conducción del agua caliente entorno a las plantas se consiguen bajos gradientes de temperatura y una mayor uniformidad térmica con respecto al cultivo.

El cultivo en invernadero está sujeto a una concentración de CO₂ fluctuante. La concentración de CO₂ bajo las estructuras de cultivo en condiciones de alto consumo (dosel cerrado, alta radiación y baja renovación de aire) puede llegar a ser la mitad que en el exterior (350 ppm), por lo que se utilizan sistemas para incre-