

ACTUALMENTE SE ESTÁ PRODUCIENDO UN INCESANTE AVANCE EN LA TECNIFICACIÓN DE LOS INVERNADEROS

# Gestión mecanizada de la fertirrigación, las labores culturales y el clima en invernaderos

Diego Valera y Francisco Molina.

Universidad de Almería.

**La mecanización de la gestión del clima ha ido cobrando importancia, en todas sus modalidades. Desde el simple control del grado de apertura de las ventanas en función de la temperatura interior, a potentes equipos de regulación predictiva del clima incidiendo sobre numerosos actuadores distribuidos por los módulos de la explotación; y en algunos casos, gestionando simultáneamente la distribución de agua y nutrientes a las plantas, en función del contenido de agua del sustrato, el peso de la planta o el modelo evaporativo. De esta forma, el riego se optimiza en función del consumo. Sin embargo, la mecanización de las labores culturales en invernaderos continúa siendo una asignatura pendiente en los mismos, de modo que los gastos en mano de obra suponen casi la mitad de los gastos corrientes de este tipo de explotaciones.**

La mayor parte de la superficie de invernaderos mundial se localiza en regiones áridas como la cuenca Mediterránea, donde se concentra aproximadamente el 20% de la superficie mundial invernada. Concretamente en la provincia de Almería existe la mayor concentración de invernaderos a nivel planetario (el 4% del total mundial).

La superficie de invernaderos a nivel mundial ha experimentado en los últimos treinta años un crecimiento exponencial debido a la puesta en producción de nuevas áreas en los países asiáticos e Iberoamérica. Sin embargo, en España se ha estancado e incluso reducido en los últimos años debido a la caída en la rentabilidad de las explotaciones motivada por la crisis en los precios en origen de las frutas y hortalizas.

La creciente competencia hace necesario mejorar la calidad de los productos como factor diferenciador para su comercialización; además, la necesidad de mantener los niveles de beneficio, que antes se apoyaba en un incremento de la superficie productora, ahora debe basarse en un aumento de la producción y el rendimiento del cultivo. Estos dos factores han hecho necesaria la evolución tecnológica que se está desarrollando en los últimos años.

Actualmente se está produciendo un incesante avance en la tecnificación de los invernaderos. Se controla por ordenador el clima del inver-

nadero, 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. Por otro lado, aparecen en el mercado máquinas diseñadas específicamente para su uso en invernaderos, que permiten agilizar y facilitar las labores culturales. De igual forma se gestionan informáticamente los tiempos de trabajo de las labores realizadas por cada trabajador de la explotación.

Las empresas auxiliares se encuentran en pleno auge, sólo en la provincia de Almería la industria auxiliar de la agricultura genera un negocio superior a los 1.000 millones de euros. Este esfuerzo de incorporación de tecnología tiene que acompañarse obligatoriamente de otro relativo a la concentración de la oferta hortofrutícola, para de esta manera rentabilizar las elevadas inversiones necesarias. La concentración de la oferta debería incluirse en los diversos planes estratégicos que realizan las Administraciones como garantía de un precio justo en origen.

La mecanización de la gestión del clima ha ido cobrando importancia, en todas sus modalidades de gama baja, media y alta. Desde el simple control del grado de apertura de las ventanas en función exclusivamente de la temperatura interior, a potentes equipos de regulación predictiva del clima, que controlan múltiples parámetros climáticos, incidiendo sobre numerosos actuadores distribuidos por los módulos de la explotación; y en algunos casos, gestionando simultáneamente la distribución de agua y nutrientes a las plantas, en función del contenido de agua del sustrato, el peso de la planta o el modelo evaporativo. De esta forma el riego se optimiza en función del consumo.

Sin embargo, la mecanización de las labores culturales en invernaderos continúa siendo una asignatura pendiente en los mismos. Está muy limitada debido a los condicionantes derivados de trabajar en el interior de una estructura con un ambiente agresivo, poca separación entre apoyos y gran intensificación y forzado de los cultivos. Actualmente sólo se están produciendo avances significativos en la aplicación de productos fitosanitarios, cuyo uso está cada vez más limitado, tendiendo hacia la lucha integrada, el control biológico e incluso a la agricultura ecológica. Por todo ello, los gastos en mano de obra suponen casi la mitad de los gastos corrientes de este tipo de explotaciones.

## Control del aporte de agua y nutrientes

En la actualidad las instalaciones de fertirrigación se controlan por ordenador, con sistemas de diseño específico dotados de microcontroladores o mediante autómatas programables, donde el aporte de nutrientes se realiza en función de las necesidades del cultivo (**foto 1**). Se busca optimizar 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



Foto 1. Equipo de fertirrigación.

una mejor solubilidad. 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 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, 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.

Se utilizan tanto sistemas tipo venturi 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 solución nutritiva 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 hay que regar. También se pueden utilizar tensiómetros para determinar las necesidades de riego, aunque este sistema requiere una correcta determinación de la 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 suelo.

## Mecanización de las labores culturales

Para los tratamientos fitosanitarios se utilizan los carros eléctricos autopropulsados 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 raíles 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 utilizan 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 µm). 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. Posibilita la aplicación 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 m<sup>2</sup>. Existen tanto equipos fijos, acoplados a la estructura del invernadero, como máquinas móviles desplazables a los distintos módulos de invernadero de la explotación.

No obstante la mayoría de las explotaciones, cuando aplican fitofármacos, lo hacen mediante pistolas acopladas a redes fijas de distribución. La tendencia general es hacia el control biológico mediante depredadores naturales, con niveles cero de residuos de plaguicidas, haciendo los agrosistemas más respetuosos con el medio ambiente y mejorando la imagen que los invernaderos transmiten a la sociedad.

Para facilitar las labores culturales, las explotaciones disponen de carros eléctricos autopropulsados con plataformas elevadoras mediante cilindros hidráulicos (foto 2). Normalmente estas máquinas se desplazan utilizando como raíles las tuberías del sistema de calefacción, aunque también existen modelos autopropulsados con ruedas neumáticas. La altura de la plataforma sobre la que se sitúa el operario se 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. Estos sistemas permiten aumentar el volumen de invernadero utilizado por las plantas, aprovechando así la mayor altura de las nuevas estructuras.

En los invernaderos más sofisticados, donde se han impuesto los cultivos sin suelo, que hacen innecesarias las labores de mantenimiento del terreno, el

tractor ha dado paso a una serie de máquinas más propias de las industrias que del campo, como son las traspaletas y las carretillas elevadoras, que permiten un transporte rápido y cómodo de los palets. Esto es posible en aquellos invernaderos dotados de pasillos y almacenes acondicionados para el movimiento de estos equipos, al disponer de solera de hormigón.



Foto 2. Plataforma móvil elevadora.



**Checchi & Magli**  
ITALIA

## Tecnologías para horticultura

Las labores culturales de trasplante, poda, tutorado, despunte, des-talle, deshojado, aclareo, escarda y recolección siguen realizándose de forma completamente manual en todos los invernaderos. No obstante se están desarrollando robots en este sentido, aunque su uso a nivel comercial está aún muy limitado. Sin embargo, se utilizan sistemas de elevación móviles como ayuda a algunas de las tareas mencionadas, al permitir a los operarios desplazarse entre las líneas de cultivo variando la altura de la plataforma sobre la que se apoyan, en función de la altura en la que se localiza la zona de la planta que ha de manipular.

Para ayudar al proceso natural de polinización aérea, que en los cultivos en invernadero se ve dificultado por la estanqueidad de la estructura, se pueden utilizar máquinas sopladoras. Estos equipos están dotados de un pequeño ventilador, que genera un flujo de aire que se hace salir por un cañón, de forma que el operario puede dirigirlo de forma manual hacia la zona del cultivo donde se encuentran las flores. La polinización mediante abejorros está plenamente consolidada en el sector.

En algunas explotaciones con mayor nivel de tecnificación, también se instalan sistemas de almacenamiento de datos electrónicos (**foto 3**) en los que los operarios deben introducir los correspondientes a las calles o filas de plantas en las que han trabajado, al tipo de labor realizada, y su código de operario; de forma que esta información se puede recoger en un ordenador personal para poder controlar todas las labores que se llevan a cabo en el invernadero, a la vez que poder realizar el tratamiento estadístico de los datos para la evaluación del rendimiento de cada trabajador. Estos dispositivos permiten establecer políticas de incentivos a los operarios.



Foto 3. Control del trabajo de los operarios.

En el proceso de clasificación de los frutos se pueden emplear pequeñas máquinas calibradoras que separan los frutos en función de su tamaño y que se instalan directamente dentro del invernadero. Lo usual es llevar los frutos sin clasificar a las centrales de

manipulación; pero algunas fincas disponen de pequeñas máquinas de clasificación que permiten la venta directa desde los invernaderos, así como el aumento del precio del producto, ya que sale de la explotación clasificado por categorías. Estas máquinas son muy útiles y usadas en otros países como Holanda, aunque no son comparables con los grandes equipos que existen en los centros de manipulación, que lavan el producto, lo clasifican por calibre, peso y color, y lo empaquetan incluso plastificado, con una capacidad de trabajo elevadísima, de hasta 20.000 kg/h y línea de trabajo. Existe una tendencia a que incorporen sistemas no destructivos de medida de propiedades organolépticas.

### Mecanización de la gestión del clima

Otro de los aspectos del manejo de los invernaderos en el que se está produciendo una continua incorporación de maquinaria y equipos, es el control climático. Como consecuencia del interés de los agricultores por incrementar los rendimientos, mejorar la calidad de la producción final, modificar los periodos de máxima producción y asegurar su cosecha, se ha producido una vertiginosa incorporación de sistemas de control climático en los invernaderos. Estos equipos tienen por objeto el control de uno o varios de los parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de los cultivos para conseguir mantenerlos en todo momento dentro del rango beneficioso para las plantas.

El principal problema que se plantean los agricultores y técnicos a la

### RIO 31 UTILITY AUTOPROPULSADA



RIO 31  
+ WOLF COMPACT

### TRASPLANTADORAS



### MAQUINAS PARA LA PATATAS



### ACOLCHADORAS Y ENTABLONADORAS

**SOLICITEN NUESTRO CATALOGO**

Via Guizzardi, 38 40054 BUDRIO BOLOGNA ITALIA

Tel. 051.80.02.53 Fax 051.69.20.611

[www.checchiemagli.com](http://www.checchiemagli.com)



Foto 4. Ventana lateral automatizada.



Foto 5. Caldera.

hora de incorporar un sistema de control climático en un invernadero, es saber cuál de ellos es más conveniente. Esto depende de múltiples factores interrelacionados que delimitan el sistema o incluso el equipo más aconsejable en cada caso. Así, la estructura del invernadero, los cultivos y variedades utilizadas, los periodos de producción y el sistema de comercialización con el que se trabaja, son elementos que hay que considerar a la hora de evaluar la incorporación de tecnología.

El principal motor del clima de los invernaderos situados en la cuenca mediterránea es la ventilación natural. El éxito de la implantación de cualquier otro método de climatización está supeditado y comprometido a la disponibilidad en el invernadero de un sistema eficaz de ventilación. La mecanización de la ventilación natural se basa en la instalación de motores eléctricos que permiten el accionamiento del proceso de cierre y apertura de las ventanas. En la actualidad se utilizan dos tipos de motores: motorreductores, que permiten el accionamiento simultáneo de múltiples ventanas mediante un sistema de piñón-cremallera, empleados principalmente en las ventanas cenitales, y los motores enrollables (**foto 4**), que se usan en las ventanas laterales al permitir que el plástico se enrolle alrededor de un eje que está accionado directamente por el motor acoplado en uno de sus extremos.

Las principales deficiencias climáticas de la mayor parte de los invernaderos están relacionadas con una insuficiente superficie de ventilación, que varía entre un 10 y un 15% de la superficie de suelo cultivado (cifras muy inferiores a las recomendadas), y a la colocación de mallas anti-insectos en las aberturas de ventilación, que reducen drásticamente la capacidad de renovación de aire y cuyo uso es prácticamente insustituible por parte de los agricultores. Las principales vías de mejora tecnológica han de partir de las fuentes propias de riqueza que caracterizan la costa mediterránea y que son sin duda la clave para el éxito que

han tenido hasta ahora los cultivos en invernadero. Así, el clima de las zonas invernadas se caracteriza por un riesgo de heladas inferior a un día al año, una oscilación térmica anual de 13-14°C, un número de horas de insolación anual superior a 3.000 h y un régimen permanente de vientos durante la práctica totalidad del año.

Aunque muchos invernaderos tipo "Almería" solo cuentan con ventanas laterales, en los últimos años se ha producido una masiva incorporación de sistemas de ventilación cenital a los invernaderos. La mayoría de los invernaderos que no cuentan con ventanas cenitales son estructuras del subtipo plano, y por lo general bastante antiguos. Prácticamente todos los invernaderos que se construyen hoy día disponen de este tipo de ventanas, indispensables en zonas cálidas como la región mediterránea. La mayor parte de los agricultores están optando por las ventanas cenitales abatibles ya que tienen un accionamiento mediante sistema de piñón y cremallera que permite controlar fácilmente el grado de apertura e incluso posibilitan el accionamiento automatizado mediante motorreductores. Una alternativa a la ventilación natural es la ventilación forzada mediante extractores, con capacidades de 10.000 a 50.000 m<sup>3</sup>/h y potencias eléctricas de 0,5 a 3,5 kW.

Las mallas de sombreado interiores no muestran diferencias significativas con respecto a la tradicional técnica del encalado de la cubierta del invernadero como medio para disminuir las elevadas temperaturas en el periodo cálido. En este caso la falta de eficacia de las mallas se puede relacionar con la reducción de la ventilación que supone la colocación de un material de baja porosidad entre la zona superior del invernadero donde se encuentran las ventanas cenitales por donde suele salir el aire y la inferior donde se sitúan las ventanas laterales por las que entra el aire, y el propio cultivo que se desea refrigerar.

Hay que insistir por tanto en que la principal vía de mejora de las condiciones climáticas en los tradicionales invernaderos mediterráneos, que como se ha señalado anteriormente siguen constituyendo la abrumadora mayoría de la masa productiva, está ligada a un perfeccionamiento de los sistemas de ventilación natural y de la técnica del encalado. A pesar de esto, los sistemas mixtos de ventilación con extractores, utilizados en momentos puntuales, y ventilación natural cuando el viento exterior garantiza un buen nivel de renovación de aire pueden constituir la solución óptima a los problemas de ventilación. De igual modo las mallas de sombreado colocadas en el exterior y utilizadas de forma simultánea al encalado pueden asegurar mejoras en el microclima del invernadero al eliminar el problema de su interferencia con el flujo de aire interior. El principal problema que encuentran estas nuevas técnicas para su implantación es que aumentan aún más el precio de las instalaciones que de por sí ya es elevado.

## Sistemas de calefacción

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. Están provistos de un quemador y un ventilador de gran capacidad (de 3.000 a 6.000 m<sup>3</sup>/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 periodos de tiempo prolongados se hace necesaria la instalación de sistemas de calefacción por medio de agua caliente. En una caldera (**foto 5**) se produce el calentamiento de agua mediante quemadores de gas propano, gasoil o fuel-oil. 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 en torno a las plantas se consiguen bajos gradientes de temperatura y una mayor uniformidad térmica con respecto al cultivo.

## Sistemas de refrigeración por evaporación de agua

Se utilizan cada vez más los sistemas de refrigeración por evaporación de agua, tanto para refrigerar el invernadero como para aumentar la humedad interior. Los más extendidos y adaptados a nuestras estructuras son las boquillas de nebulización, y en menor medida los paneles evaporadores.

La nebulización o fog consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10  $\mu\text{m}$ . Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire 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  $\text{m}^2$  de invernadero. El equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada ya que las boquillas pueden obstruirse fácilmente. Las boquillas de alta presión (40 y 60  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) producen gotas pequeñas, de las que el 95% son menores de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las boquillas de baja presión utilizan agua a presiones comprendidas entre 3 y 6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a presión.

Los paneles evaporadores (foto 6) poseen un material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se sitúa 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 o 35 m recomendados. Tienen la gran ventaja de que pueden utilizarse incluso cuando el viento exterior es fuerte, lo cual ocurre en muchas ocasiones en las zonas invernadas, permitiendo la refrigeración del invernadero. Normalmente, por seguridad estructural, independientemente de que haya un exceso de temperatura, se cierran las ventanas con vientos incluso no muy fuertes (menores de 10-12  $\text{km}/\text{h}$ ); en esta situación el cultivo está en riesgo por exceso de temperatura, y la nebulización no funciona ya que se satura rápidamente el aire del invernadero, al no renovarse.

En los invernaderos situados en la costa mediterránea el principal problema de control climático suelen ser las altas temperaturas estivales. Normalmente se recurre a la utilización de los sistemas de ventilación para reducir la temperatura del invernadero, con el inconveniente de estar supeditados a un rango de temperatura que se sitúa entre 5 y 7 $^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura ambiente exterior. Para poder reducir la temperatura interior del invernadero por debajo de la exterior es necesario recurrir a los sistemas de refrigeración en los que se introduce una cierta cantidad de agua dentro del invernadero que al evaporarse produce un aumento de la humedad absoluta y un descenso de la temperatura.

## Sistemas de inyección de anhídrido carbónico

El cultivo en invernadero está sujeto a una concentración de  $\text{CO}_2$  fluctuante. La concentración de  $\text{CO}_2$  bajo las estructuras de cultivo en con-



# SOLUPOTASSE®

## El auténtico SOP soluble especial para fertirrigación y aplicación foliar

Desde hace más de 10 años, SoluPotasse® ha proporcionado a los agricultores de todo el mundo, una excelente fuente concentrada de potasio y azufre, ayudando a producir cultivos de alta calidad y alto valor.

- Fácil manejo - rápida disolución y totalmente soluble en agua
- Bajo pH - mejora la asimilación de los nutrientes por la planta y disminuye los riesgos de obstrucción de goteros
- Ideal para suelos sensibles y con problemas de salinidad - bajo índice salino y libre de cloro
- Alta pureza y calidad garantizada con resultados óptimos
- Fertilización flexible - una fuente de potasio libre de nitrógeno que además aporta azufre

**Tessengerlo Group Fertilizers**  
*giving nature a helping hand*



Foto 6. Paneles evaporadores.

diciones 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 incrementar la concentración del citado gas en el interior de los invernaderos. El enriquecimiento carbónico mediante la incorporación de CO<sub>2</sub> puro es el procedimiento más utilizado y la fuente más controlable de incorporación de dióxido de carbono. El equipo necesario consta principalmente de un depósito (foto 7) donde se almacena el CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> a una tasa o concentración constante dependiendo del porcentaje de apertura 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 CO<sub>2</sub> a 700 ppm cuando las ventanas están completamente cerradas, y a 350 ppm cuando están abiertas.

## Control mediante ordenador

En lo relativo al control ambiental se está produciendo una evolución en la concepción de la mejora del clima, de forma que en la actualidad junto con la adecuación de los parámetros climáticos (radiación, temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>) a los óptimos para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, se persiguen nuevos objetivos como la homogeneidad de las condiciones ambientales dentro de los invernaderos y el rendimiento económico que supone el uso de las diferentes técnicas y sistemas de climatización. Para ello se están desarrollando sistemas de control de

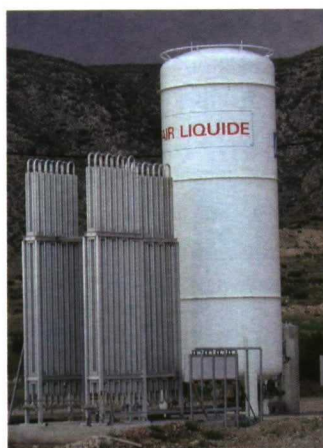


Foto 7. Abonado carbónico.

tipo predictivo, que basándose en previsiones meteorológicas, balances de energía en el invernadero y modelos de crecimiento de las plantas, permiten estimar las variaciones de producción generadas por los sistemas de climatización y su coste económico. Para ello también deben utilizar bases de datos de precios y modelos económicos que permitan predecir el valor de la producción final y compararla con el coste de funcionamiento de los equipos de climatización.

En los invernaderos tradicionales como los del tipo Almería en su variante «raspa y amagado» se utilizan pequeños controladores (automatas 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, que integran todos los parámetros climáticos y todos los actuadores: ventanas cenitales y laterales, ventilación forzada, nebulización, calefacción, inyección de CO<sub>2</sub>, etc. Registran toda la información y la presentan en forma de gráficos que permiten el estudio por menorizado de todo lo ocurrido en el invernadero.

También están disponibles equipos comercializados bajo la denominación de fitomotores, que miden otra serie de parámetros relativos al comportamiento de la planta, como crecimiento del fruto y del tallo, flujo de savia o temperatura de la hoja. Estos dispositivos por el momento, sólo se muestran útiles como fuente de información cualitativa y no cuantitativa, debido: a la alta sensibilidad del instrumental, que origina variaciones en las medidas por perturbaciones externas o por una incorrecta instalación, a la falta de representatividad del conjunto de plantas del invernadero y al déficit de conocimiento existente hoy día relativo a los parámetros que mide.

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.

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. ■

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ministerio de Educación y Ciencia la financiación parcial de este trabajo mediante los Proyectos de referencias AGL2006-09068/AGR y BIA2006-12323.