

Mecanización de los invernaderos (II): control climático

Esta tecnificación puede ser contraproducente si no se acompaña de una mejora en la preparación de los técnicos

En esta segunda parte, los autores se centran en otro de los aspectos del manejo de los invernaderos en el que se está produciendo una continua incorporación de maquinaria y equipos, como es el control climático: sistemas de calefacción, sistemas de ahorro energético, sistemas de refrigeración y humidificación por evaporación de agua, sistemas de inyección de anhídrido carbónico y sistemas informáticos de control climático.

Valera D.L.¹, Molina F.D.¹, Peña A.¹ y Gil, J.²

¹Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería.

²Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba.

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 hora de incorporar un sistema de control climático en un invernadero es saber cual 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, el sistema de comercialización con el que se trabaja, son elementos que hay que consi-

derar a la hora de evaluar la incorporación de un sistema de climatización.

Sistemas de ventilación

El principal sistema de control climático utilizado en 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 de ventilación eficaz. 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 (Fig. 13) que permiten el accionamiento simultáneo de múltiples ventanas mediante un sistema de piñón-cremallera, empleados principalmente en las ventanas cenitales (Valera et al., 2002b) y los motores enrollables, que

tema está supeditada a la capacidad de la instalación y a la correcta gestión de su funcionamiento dado el elevado gasto energético que conllevan. La Asociación Norteamericana de Ingenieros Agrónomos recomienda una tasa de ventilación de 45 a 60 renovaciones por hora en las instalaciones de ventilación forzada (ASAE, 1981), tasa que en el caso de la ventilación natural, permite disminuir la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero a 5-7 °C (Montero et al., 1992). Esta capacidad de renovación de aire es muy superior a la de la mayoría de instalaciones que actualmente existen en los invernaderos, debido a la fuerte inversión necesaria para alcanzar esos niveles de ventilación y al importante déficit de potencia eléctrica existente en la mayoría de las zonas de implantación de los invernaderos.

Sistemas de calefacción

En el caso de altas necesidades de producción en el periodo invernal se recurre a la instalación de equipos de calefacción por agua caliente, que permiten mantener dentro del invernadero temperaturas ambientales superiores a la exterior durante periodos prolongados de tiempo. Los sistemas de calefacción están compuestos por una o varias calderas, generalmente de tipo pirotubular (Fig. 14), en las que mediante un quemador se produce la combustión de un carburante, generalmente gas propano, gas natural, gasóleo o fueloil. El combustible se almacena en un depósito a presión, situado fuera del invernadero, y en el caso de utilizar fueloil es necesario un depósito auxiliar donde se mantiene a una temperatura superior a la ambiental para su fluidificación. El sistema se completa con las bombas de impulsión del agua caliente, un calderín de compensación que actúa como regulador de la presión en el sistema y la red de tuberías por las que circula el agua caliente dentro del invernadero.

Actualmente se instalan sistemas de calefacción de alta temperatura (70-90°C) que utilizan tuberías de distribución metálicas, de acero colocadas sobre el suelo, o de aluminio situadas a nivel del cultivo (Fig. 15), para mantener las temperaturas nocturnas por encima de 16-18°C durante todo el periodo invernal.



Figura 13. Motorreductor.

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.

Una alternativa a la ventilación natural es la utilización de ventilación forzada mediante la instalación de extractores, con capacidades de 10.000 a 50.000 m³/h y potencias eléctricas de 0,5 a 3,5 kW, que permiten generar una fuerte corriente de aire entre el interior del invernadero y el exterior. La eficacia de este sis-

Cuando se desea mantener la temperatura interior en niveles algo menores, de 12 a 15°C, se pueden utilizar instalaciones de baja temperatura que utilizan principalmente tuberías de polipropileno corrugadas, por las que circula el agua de calefacción a 30-50°C.

En otros invernaderos se persigue únicamente asegurar que las temperaturas mínimas no alcancen valores extremos, que pudieran poner en riesgo el cultivo, por lo que se emplean generadores de aire caliente por combustión directa o indirecta. Estos sistemas permiten elevar la temperatura de una forma rápida, aunque como contrapartida provocan importantes gradientes térmicos dentro del invernadero.

Los generadores de combustión directa presentan el inconveniente de introducir los gases procedentes de la combustión en el propio invernadero, lo que puede causar problemas al personal o a los cultivos en el caso de un uso prolongado. Los generadores de este tipo están compuestos esencialmente por una cámara de combustión de acero galvanizado, un quemador de tipo atmosférico y un ventilador que produce un flujo de aire mediante el cual se transmite el calor por convección dentro del invernadero. Los generadores que se instalan en invernaderos proporcionan una potencia calorífica útil comprendida entre 25 y 140 kW, con caudales de aire que oscilan de 1.000 a 12.500 m³/h.

Para evitar que los gases procedentes de la combustión permanezcan dentro del invernadero, se utilizan generadores de combustión indirecta que permiten su expulsión al ambiente exterior. Son equipos muy similares a los anteriores a los que se incorpora un intercambiador de calor de acero inoxidable y un conducto de expulsión de los gases. A través de estos dos elementos metálicos se produce una transferencia de calor, desde el aire caliente que sale de la cámara de combustión, hacia el aire del interior del invernadero, que es impulsado después por el ventilador para realizar la mezcla con el aire más frío del invernadero. Estos sistemas generan una disminución del rendimiento de los generadores en un 10-20%, con respecto a los de combustión directa. En los invernaderos se emplean generadores de este tipo con potencias útiles de 35 a 175 kW, y caudales de aire de 2.500 a 11.500 m³/h.

En el caso de los semilleros hortícolas es corriente disponer de ambos sistemas de calefacción, de forma que las tuberías de agua caliente se utilizan para mantener una temperatura media elevada y los generadores de aire para incrementar la temperatura de forma rápida o en una zona localizada dentro del invernadero, o para disminuir la humedad relativa. Además, suelen utilizar mangas de polietileno



Figura 14. Caldera de calefacción.



Figura 15: Tubería de aluminio, de calefacción.

perforadas, de 20-25 cm de diámetro, a través de las cuales se distribuye el aire dentro del invernadero, disminuyendo así los gradientes de temperatura.

Sistemas de ahorro energético

En los invernaderos con mayor nivel de implantación tecnológica, también se ha extendido el uso de sistemas de ahorro energético (para disminuir las pérdidas de radiación de onda larga), como pantallas térmicas y dobles cubiertas. En el primer caso, se colocan sobre el cultivo mallas, generalmente de tipo aluminizadas, que se pueden accionar de forma mecanizada mediante sistemas de barras y piñón-cremallera o mediante sistemas de cables, accionados a través de motorreductores eléctricos (Valera et al., 2001).

En el caso de las dobles cubiertas se instala una segunda lámina de plástico dentro del invernadero que aumenta su aislamiento térmico y radiactivo. En algunos casos se puede dejar un espacio interior de varios centímetros de espesor entre las dos láminas, introduciendo un pequeño volumen de aire mediante un compresor.

Sistemas de refrigeración y humidificación por evaporación de agua

En los invernaderos situados en la costa mediterránea el principal problema de control climático suele 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°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.

Los equipos de "cooling system" o pantallas evaporadoras están constituidos por una serie de paneles de material poroso (láminas de celulosa, virutas de madera, etc.) a través del cual se hace circular agua en sentido vertical y aire en sentido horizontal. Los paneles se suelen colocar a lo largo de todo un lateral del invernadero y en el lado opuesto se sitúan varios extractores, que crean la succión necesaria para que el aire exterior penetre en el invernadero pasando por los citados paneles. El aire, al atravesar el flujo de agua, absorbe una gran cantidad de humedad que al entrar en el invernadero se evapora, produciendo inicialmente un descenso de temperatura de la masa de aire entrante y posteriormente, y como consecuencia de la mezcla con el aire interior caliente, un enfriamiento del conjunto del invernadero. La instalación se completa con el sistema de circulación de agua compuesto principalmente por una bomba hidráulica de impulsión, las tuberías de distribución situadas sobre los paneles, en los que se pueden insertar microaspersores, goteros o simplemente pequeñas perforaciones, y un canal de recogida del exceso de agua. En función del tipo de pantalla se requieren caudales de agua de 4 a 10 L/min y por metro lineal de material poroso.

Otro tipo de instalaciones que utilizan la evaporación de agua como sistema de refrigeración son los equipos de nebulización o «fog system». En este caso se proyectan dentro del invernadero y a la mayor altura posible sobre el cultivo, pequeñas gotas de agua (de 2 a 60 mm), que en su trayectoria descendente se evaporan antes de entrar en contacto con el dosel vegetal, para evitar mojar el cultivo y los efectos negativos que ello conlleva. Existen dos tipos de sistemas de nebulización: los de alta presión que trabajan a presiones de 4-6 MPa, con caudales de 4-5 L/h y los de baja presión en los que el agua (a 0,3 y 0,6 MPa) se mezcla con aire comprimido (0,6-0,8 MPa) con caudales de funcionamiento de 7-8 L/h.

Los sistemas de alta presión están compuestos por una bomba hidráulica que suministra energía al agua procedente de un depósito y la impulsa a lo largo del invernadero por una serie de conducciones que constituyen la

red de distribución. En las tuberías se colocan las boquillas nebulizadoras, cada 6-8 m² de invernadero, de forma que se generan gotas de un tamaño inferior a 20 mm.

En los sistemas de baja presión se puede utilizar una segunda red, de aire comprimido, compuesta por un compresor de aire y las tuberías de distribución en las que se colocan las boquillas de nebulización. Normalmente la toma de agua de las boquillas se realiza a través de unos pequeños microtubos insertados en las tuberías de agua a través de los cuales se produce la succión por efecto venturi. Este tipo de instalaciones tienen la ventaja de producir un menor tamaño de gota, inferior a 10 mm, y de compatibilizar su uso como sistemas de aplicación de productos fitosanitarios (véase número anterior de **Vida Rural**). El principal inconveniente es la elevada potencia necesaria en los compresores de aire, lo que aumenta sustancialmente el consumo de energía eléctrica.

Las instalaciones de nebulización se utilizan tanto para reducir las elevadas temperaturas como para mantener un nivel adecuado de humedad en torno al cultivo. Para evitar un exceso de gotas que sature el ambiente y moje las plantas, la instalación funciona a pulsos, de forma que se nebuliza durante 1 minuto y se detiene durante 30-60 segundos, para permitir la completa evaporación de las gotas.

Sistemas de inyección de anhídrido carbónico

Otras de las máquinas implantadas en los invernaderos son las necesarias para la inyección de CO₂, también llamada abonado carbónico. Las instalaciones de aporte de anhídrido carbónico están compuestas fundamentalmente por un depósito criogénico, con una capacidad de 5.000 a 60.000 litros, donde se almacena el gas a elevada presión (1,8-2 MPa) y baja temperatura (-20 a -25°C), un sistema de gasificación y una red de distribución en el interior del invernadero. El sistema de conducción e inyección de CO₂ está constituido por tuberías rígidas o flexibles de polietileno, donde se instalan los goteros.

La vaporización del CO₂ líquido proveniente del depósito, se puede realizar mediante gasificadores atmosféricos o mediante carbovapores (**Fig. 16**) que utilizan agua caliente, y que son empleados cuando se producen grandes consumos de anhídrido carbónico en el invernadero. La gestión de la inyección de CO₂ se realiza en función de la demanda del cultivo,

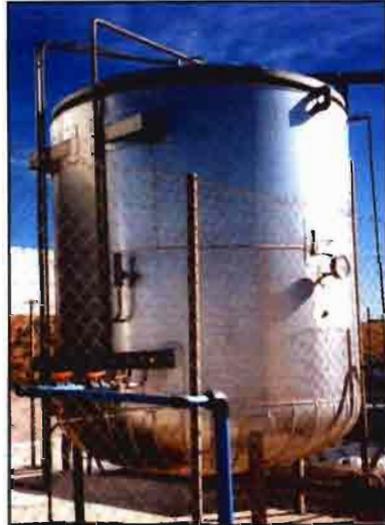


Figura 16. Carbovapor.

que alcanza su máximo nivel al mediodía, y de si las ventanas están abiertas, lo que genera una importante pérdida del gas inyectado, o cerradas. Normalmente se mantiene una alta concentración de CO₂ en las horas centrales del día dentro del invernadero, entre 700 y 900 ppm. Cuando se activa la ventilación es necesario disminuir la concentración interior para reducir al máximo la fuga del gas por gradiente de concentración a través de las aberturas, por lo que se suele inyectar CO₂ para mantener dentro del invernadero una concentración similar a la que hay en el exterior (350 ppm).

Sistemas informáticos de control climático

Todos los equipos de control climático requieren la utilización de sistemas informáticos para su gestión, debido al gran número de variables e interacciones que se han de tener en cuenta para su manejo. Así, actualmente el uso de los equipos comentados anteriormente conlleva la instalación de sensores capaces de medir las diferentes variables climáticas, principalmente temperatura, humedad relativa o absoluta, radiación solar incidente, concentración de CO₂, velocidad y dirección del viento. Todos esos datos se registran y representan gráficamente en un ordenador, que además es el encargado de verificar las consignas de control introducidas por el usuario y de enviar las señales pertinentes para que se pongan en funcionamiento o se detengan los distintos equipos de climatización.

Actualmente también están disponibles equipos comercializados bajo la denominación de «fitomonitores», que miden otra serie de pa-

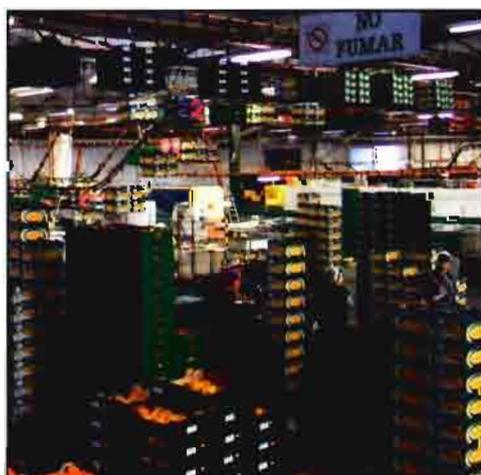


Figura 17. Centro de manipulación.

rámetros 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 enorme déficit de conocimiento existente hoy día relativo a los parámetros que mide.

Conclusiones

Actualmente existen un gran número de máquinas y equipos con aplicación en invernaderos disponibles en el mercado. Sin embargo, el uso de la mayor parte de ellos está aún muy restringido a unos pocos invernaderos en los que sus características estructurales y la capacidad de inversión de sus propietarios lo permiten. Así, el nivel general de mecanización del conjunto de invernaderos es aún muy escaso y la mayoría de operaciones agrícolas se siguen realizando de forma manual.

En el sector hortofrutícola destaca la gran diferencia de tecnificación entre los invernaderos que producen las frutas y hortalizas y los centros de manipulación donde se acondicionan y comercializan, en los que están implantando sistemas de limpieza, clasificación y embalaje, con un alto grado de sofisticación tecnológica (**Fig. 17**).

Esta diferencia se debe a la mayor capacidad de inversión de que disponen las grandes empresas comercializadoras, y a la que no tienen acceso de forma individual los pequeños agricultores, que constituyen la gran masa productora del sector. Además, las centrales hortofrutícolas se ven obligadas a la mejora de sus instalaciones como consecuencia de la fuerte presión comercial existente en el sector y a la creciente exigencia del mercado internacional al que va destinada gran parte de la producción.

El futuro parece conllevar un inevitable incremento de la mecanización de los invernaderos, que requerirá gran esfuerzo de inversión por parte de los pequeños agricultores, muy conscientes de la necesidad de mejorar tecnológicamente sus explotaciones.

La creciente tecnificación del invernadero puede ser contraproducente si no va acompañada de una mejora en la preparación de los técnicos que dirigen o asesoran las explotaciones agrícolas ya que, para la mayoría de equipos, un uso incorrecto puede ocasionar rendimientos económicos negativos, al superar los gastos de funcionamiento al incremento que originan en el valor de la producción final. ■