

# Refrigeración de invernaderos

Sistemas para disminuir la temperatura en los cultivos bajo plástico en las distintas zonas climáticas

*En el norte de Europa, mientras la calefacción del invernadero supone un coste importante, la refrigeración no resulta particularmente problemática. En la zona mediterránea, por el contrario, la refrigeración suele ser un problema de solución más complicada que la calefacción.*

**R.M. Benavente<sup>1</sup>; J.L. García<sup>2</sup>; C.E.L. Oliveira<sup>2</sup>; J.M. Durán<sup>3</sup> y I. Sánchez<sup>3</sup>. Fotos: J.L. García.**

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Rural, Universidad Politécnica de Madrid. <sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Rural, UPM/CNPq (Brasil). <sup>3</sup> Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia, UPM.



Ventilación cenital en invernadero Venlo (Holanda).

**E**l invernadero gana calor por radiación solar y lo pierde, fundamentalmente, por la renovación de aire a través de las ventanas, la evapotranspiración del cultivo y el suelo y la evaporación de agua en determinados equipos que utilizan este mecanismo. Sobre estos flujos de energía se puede actuar para buscar las condiciones óptimas.

En Holanda, generalmente, la ventilación es cenital, con ventanas sólo en el techo. En los invernaderos *Venlo* se colocan alternativamente ventanas a un lado y a otro; la colocación de aperturas en los dos lados permite al sistema de control aprovechar la apertura de ventanas al máximo, operando en primer lugar sobre las de barlovento, lado en el que la ventilación resultante es mayor. El sistema de control suele disponer de información sobre la temperatura, humedad relativa y dirección y velocidad del viento, actuando sobre una serie de motores que operan sobre las ventanas. La apertura y cierre puede ser gradual en función de las necesidades; las ventanas se abrirán para reducir la temperatura en el interior del invernadero, pero también si la humedad relativa interior se aproxima al punto de saturación; el objetivo es evitar las enfermedades criptogámicas provocadas por la condensación de gotas de agua en los cultivos.

En los invernaderos del norte de Europa se utiliza en ocasiones la ventilación forzada, instalando ventiladores a cierta altura a intervalos regulares en el interior del invernadero. Es-

tos equipos mejoran la circulación de aire y la homogeneidad de temperaturas en el cultivo. Sin embargo, se utilizan poco en otras zonas, debido a su coste y al consumo de energía eléctrica que producen.

Los invernaderos mediterráneos, de plástico rígido o flexible, pueden equiparse con ventilación lateral (ventanas en los laterales), cenital (en el techo) o bien ambas a la vez. La utilización simultánea de ventanas en los laterales y en el techo mejora sensiblemente la circulación de aire, por lo que es muy recomendable combinarlas; el aire, al calentarse, tiende a subir saliendo del invernadero por las ventanas cenitales, entrando al mismo tiempo aire exterior por las aperturas laterales. Una tasa de 30 renovaciones/hora se considera una ventilación aceptable. En el área mediterránea, los problemas por alta humedad relativa en el interior del invernadero son menos habituales, por lo que el control de las ventanas suele realizarse en función de una temperatura de consigna. Las ventanas se cierran cuando la temperatura interior desciende por debajo de un determinado límite y se abren cuando la temperatura supera ese límite más un pequeño incremento. Este aumento sirve para que las ventanas no se abran y cierren con una frecuencia excesiva, lo que provocaría el desgaste de los motores que accionan el sistema.

En invernaderos de plástico rígido un sistema habitual de accionamiento es el giro de una barra metálica, impulsada por un motor, y a la vez conectada con una serie de cremalleras o correas dentadas. El giro de la barra desplaza longitudinalmente las cremalleras, abriendo o cerrando una abertura continua en el techo o lateral.

En los invernaderos de plástico flexible existen también sistemas que permiten la automatización de la ventilación. Algunos sistemas utilizan un eje giratorio, impulsado por un motor, que enrolla el plástico de la ventana, desplazándose hacia arriba al abrir y hacia abajo al cerrar. Este mecanismo permite abrir y cerrar todo un lateral; el eje se inserta, en intervalos regulares, en barras verticales de apoyo. Este sistema de ventilación lateral puede combinarse con otro sistema automatizado de ventilación cenital.

Un aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de colocar mallas en las ventanas para evitar la entrada de insectos; dependiendo del tipo de malla, se puede evitar incluso la entrada de pulgones, posibles vectores de virus. Este método permite reducir el uso de fitosanitarios, siguiendo la tendencia actual de disminución de uso de agroquímicos. Sin embargo, su colocación reduce considerablemente la ventilación; por ello, el número de ventanas debe compensar la presencia de mallas.

La ventilación en invernaderos del área mediterránea suele combinarse con otros sistemas, como pantallas de sombreado y/o nebulización. Sin embargo, la renovación del aire por las ventanas es la base del sistema de refrigeración y debe diseñarse con atención. En cultivos de gran porte, la combinación de ventilación natural y la propia transpiración del cultivo pueden ser suficientes para mantener la temperatura del invernadero dentro de unos límites aceptables; si la ventilación es adecuada se favorece la transpiración del cultivo.

Uno de los factores sobre los que se puede influir para reducir la temperatura interior es la reducción de la radiación solar que penetra en el invernadero. Para ello, se utilizan fundamentalmente dos sistemas: el encalado y las mallas o pantallas de sombreado. El encalado consiste en recubrir la cara exterior de la cubierta del invernadero con un recubrimiento o pintura de color blanco que reduzca el paso de radiación solar. Habitualmente, se utiliza carbonato cálcico o cal apagada. El carbonato cálcico o

Blanco de España se utiliza más en el sur de la Península, ya que se elimina con mayor facilidad; la cal apagada se utiliza más en el norte, donde una lluvia ocasional en verano arrastraría el carbonato. Las ventajas del encalado son su coste razonable y su no interferencia con la ventilación o con el cultivo; además de bajar la temperatura, mejora las condiciones de trabajo de los operarios al disminuir la radiación directa. Sus desventajas son su efecto limitado (la temperatura sólo desciende entre 1-3 °C), las necesidades de mano de obra que plantea, la poca uniformidad (en ocasiones) del encalado, los restos de suciedad que deja en la cubierta y el hecho de que se trata de una reducción permanente de la radiación, que afecta también en horas en las que la radiación solar puede ser insuficiente.

Las mallas de sombreo son un segundo método para reducir la radiación solar. Se pueden colocar en el interior o en el exterior de la cubierta. Lo ideal es colocarlas en el exterior, de forma que el calor emitido por la propia cubierta no entre en el invernadero. Sin embargo, la colocación sobre la cubierta es engorrosa, por lo que es más habitual colocarlas en el interior. Pueden ser fijas o móviles; por otro lado, pueden ser exclusivamente de sombreo o funcionar también como pantallas térmicas. Las mallas de sombreo suelen ser de polietileno blanco o negro; el blanco parece tener mejores propiedades ópticas para sombrear, pero el negro suele ser de mayor duración. Las pantallas térmicas, que se utilizan para sombreo en verano y ahorro de energía en invierno, combinan el polietileno con fibras de aluminio y suelen montarse en estructuras móviles que permiten plegarlas de forma automática. En ambos casos, existe en el mercado una amplia variedad de densidades de malla, de forma que se permite el paso de un porcentaje mayor o menor de radiación.

Las ventajas de las mallas de sombreo fijas son su coste económico y su fácil instalación (para mallas sencillas en el interior del invernadero). Con pantallas con plegado automático es posible manejar el sistema para que la radiación solar que llega a las plantas se aproxime a la óptima. Su principal desventaja es su efecto limitado, inferior incluso al que se consigue con el encalado, ya que la presencia de la malla o pantalla en general interfiere con la ventilación. Por ello, la refrigeración conseguida por la reducción de la radiación puede perderse por la menor renovación de aire.

El último grupo de sistemas de refrigeración utiliza la evaporación de agua. La evaporación de un litro de agua requiere 2.500 kJ de energía, por lo que es un magnífico método para disminuir la temperatura; dentro de este concepto se encuentra la

propia transpiración del cultivo. En el norte de Europa, especialmente en Holanda, se usa el riego de la cubierta con aspersores. Debido a las pequeñas necesidades de refrigeración en esas zonas, el sistema es interesante porque no interfiere con el cultivo; sin embargo, el riego de la cubierta probablemente es insuficiente en latitudes más cálidas. Una desventaja del sistema es que requiere agua de buena calidad, ya que las deposiciones de cal o sales ensucian la cubierta.

En el área mediterránea, los dos sistemas más interesantes que emplean la evaporación de agua son las pantallas evaporadoras (*cooling system*) y la nebulización (*fog system*). Ambos son especialmente interesantes en climas secos (ya que la cantidad de agua evaporada que admite el aire es mayor y, por lo tanto, el efecto superior) y con cultivos de pequeño porte o en las primeras fases, situaciones en las que la propia transpiración del cultivo es pequeña.

Las pantallas evaporadoras son un sistema formado por un conjunto de paneles o pantallas de fibra o celulosa que se colocan en un lateral del invernadero (preferiblemente el norte) y un conjunto de ventiladores que extraen aire del invernadero (provocando una succión en el interior) que se colocan en general en el lateral opuesto. Las pantallas están húmedas de forma permanente; el agua desliza desde la parte superior, impulsada por una bomba. El conjunto funciona de forma que el aire exterior seco entra en el invernadero a través de los paneles húmedos (por la succión que crean los ventiladores). El aire evapora agua, disminuyendo su propia temperatura (por el calor que requiere la evaporación) e incrementando su contenido en vapor de agua. De esta forma en el invernadero entra aire fresco y húmedo, que recorre el interior refrigerando el ambiente hasta salir por el lado opuesto impulsado por los ventiladores. El sistema requiere que el invernadero sea hermético, de forma que el aire entre a través de los paneles y no por huecos de la estructura; por esto, es un método adecuado para invernaderos de alta calidad. Ade-

más, la distancia entre pantallas y ventiladores no debe ser superior a 25 m para que sea efectivo. En general las pantallas celulósicas dan mejor resultado que las de fibra, ya que soportan bien aguas salinas y no se compactan, dejan huecos al paso del aire. El sistema es caro, con un coste entre 900-1.200 ptas./m<sup>2</sup>.

La nebulización es otro sistema que utiliza la evaporación de agua. El sistema consiste en la colocación, a una cierta altura, de un determinado número de boquillas nebulizadoras que dispersan agua en gotas de pequeño tamaño; en la situación óptima, estas gotas de agua son tan pequeñas que se evaporan antes de caer sobre el suelo o el cultivo. El tamaño óptimo de gota es de diámetro entre 5 y 10 micras; su evaporación reduce la temperatura del aire en el interior.

Existen boquillas de alta y baja presión. Las boquillas de alta presión (a 40-60 kg/cm<sup>2</sup>) producen tamaños de gota más adecuados, pero el conjunto resulta mucho más caro (1.500-1.800 ptas./m<sup>2</sup>) porque requiere equipos y tuberías que soporten estas presiones. Los sistemas de baja presión (3-6 kg/cm<sup>2</sup>) son mucho más económicos, pero el tamaño de las gotas es superior y parte de ellas puede caer sobre el cultivo, con consiguiente riesgo de enfermedades criptogámicas. Algunos sistemas utilizan boquillas a baja presión que nebulizan el agua por la acción de aire comprimido; consiguen un tamaño de gota casi tan bueno como los sistemas de alta presión, pero requieren la instalación de un compresor de aire que aumenta el coste. Los sistemas por nebulización deben ir asociados a una buena ventilación del invernadero, que renueve el aire húmedo y lo sustituya por aire seco exterior.

Las ventajas de la nebulización son su coste razonable (en los sistemas a baja presión), el aumento de humedad relativa que producen (lo que es interesante en ciertos cultivos) y su gran efectividad para reducir la temperatura en climas secos. Sus desventajas son los posibles problemas por enfermedades criptogámicas en cultivos sensibles, si las gotas de agua llegan a depositarse en las plantas, y la posibilidad de obturación de las boquillas, sobre todo en zonas con agua de mala calidad. ■

## BIBLIOGRAFÍA

Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, N.J. y Van de Braak, N.J. 1995. Greenhouse climate control. Wageningen Pers.

Matallana, A. y Montero, J.I. 1989. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundi-Prensa.

Pérez Parra, J. y Cuadrado Gómez, I.M. 1998. Tecnología de invernaderos II. Curso superior de especialización. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, FIAPA y Caja Rural de Almería.



Pantallas evaporadoras (Madrid).