

# La ventilación forzada como técnica de control climático

Una técnica conceptualmente buena siempre que se estudien sus limitaciones en cada caso concreto

Mediante un buen sistema de ventilación forzada se puede controlar de manera más precisa que con ventilación natural el régimen termohigrométrico de un invernadero, así como el reestablecimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> exterior. El sistema debe estar correctamente diseñado para asegurar la tasa de renovación deseada; si no es así, la ventilación forzada resulta desastrosa para los intereses del agricultor.

D. L. Valera; M. A. Arellano; M. Urrestarazu; F. D. Molina y A. J. Álvarez.  
Universidad de Almería.

**E**l principal problema de la ventilación forzada es el coste de la energía eléctrica, debido a la elevada potencia de cada extractor. Para que el sistema sea efectivo, se recomienda que pueda alcanzar de 45 a 60 renovaciones del aire del invernadero por hora. Por otro lado, debe considerarse en el

diseño inicial la caída de la tasa de ventilación que va a provocar la casi obligada instalación de mallas anti-insecto en las aperturas de ventilación.

Los extractores utilizados son de 0,5 a 1,2 m de diámetro, con valores de potencia que van desde 0,40 a 1,47 kW, siendo los de 0,75 kW los más utilizados. Los caudales que proporcionan dependen de la diferencia de presión existente entre el interior y el exterior del invernadero. Así se pueden conseguir flujos de 5.000 a 40.000 m<sup>3</sup>/h.

► *El principal problema de la ventilación forzada es el coste de la energía eléctrica, debido a la elevada potencia de cada extractor.*

Mediante esta técnica, en el mejor de los casos, las condiciones ambientales dentro del invernadero se aproximarán a las del exterior. Es decir, no es una herramienta que permita mejorar, por ejemplo, el régimen de temperatura y humedad exterior.

En nuestras latitudes se pretende fundamentalmente disminuir la humedad dentro del invernadero en otoño-invierno, así como los excesos de temperatura en primavera-verano y, en menor medida, reestablecer la

concentración de CO<sub>2</sub> a los niveles que hay fuera del invernadero; fundamentalmente en las horas centrales del día, cuando la elevada radiación solar provoca un aumento de la actividad fotosintética y del consumo de este gas.

Por otro lado, dada la situación actual de una gran incidencia de virosis en nuestros cultivos, con daños anuales importantísimos en muchas hectáreas invernadas (en algunas de ellas incluso provocando la destrucción total del cultivo), se tiende a hermetizar lo máximo posible el invernadero y a disponer mallas de protección en las ventanas. De esta manera se pretende evitar, en la medida de lo posible, la entrada a los invernaderos de insectos vectores de virus. Realmente este problema es severo en gran parte de la franja costera mediterránea. La ventilación



Conjunto de extractores en un invernadero de Almería.



Detalle de un extractor visto desde el interior del invernadero.

forzada se presenta inicialmente como una alternativa para mejorar el microclima de estos invernaderos cerrados.

Como hemos comentado previamente, en el mejor de los casos nos acercaremos a las condiciones climáticas del exterior del invernadero, sin posibilidad de mejorarlas.

El principal problema es el precio de la energía eléctrica consumida, debido a la potencia de la instalación y al elevado número de horas diarias de funcionamiento, que en determinadas épocas del año es muy elevado. En este sentido, también se presenta como una gran limitación la falta de electrificación del campo. Si bien es cierto que está en aumento, las líneas eléctricas deben soportar las demandas derivadas de esta técnica, con gran consumo de energía eléctrica. En muchas ocasiones los agricultores no disponen de la potencia que demanda la instalación y, generalmente la regularidad y calidad del suministro no es la deseable. Así, son frecuentes los cortes de energía eléctrica, que pueden provocar graves pérdidas no sólo por la parada de los extractores, sino, por ejemplo, derivadas de los fallos provocados en el sistema de hidroponía.

Este sistema de control climático requiere para su correcto funcionamiento que el invernadero sea hermético, es decir, el aire debe entrar exclusivamente por las ventanas más alejadas de los extractores y salir por ellos. Si el aire penetra en el invernadero por las proximidades de los extractores, el efecto de éstos será prácticamente nulo en casi la totalidad del invernadero. Por lo cual, en estructuras cuyo material de cerramiento está perforado en algunas zonas (por ejemplo, con puntos de alambre) la eficacia de la ventilación forzada se ve comprometida.

La excesiva anchura de los invernaderos también limita la aplicación de la ventilación forzada. Anchuras superiores a los 45 metros reducen drásticamente la eficacia. En algunas zonas, como en el sureste de España, los invernaderos superan ampliamente estas cotas.

Y no menos importantes son los diseños incorrectos. Aunque parece algo evidente que el sistema debe estar correctamente diseñado, la realidad nos muestra que muchas de las instalaciones ejecutadas en los últimos años adolecen de graves problemas de

rivados de una incorrecta concepción inicial. Por ejemplo, si las recomendaciones internacionales establecen que la tasa de ventilación sea como mínimo de 45 a 60 renovaciones del volumen de aire del invernadero por hora, parece evidente que diseños de cuatro a seis veces inferiores fracasarían, más aún cuando es obligada la instalación de mallas de protección, que reducen drásticamente la tasa de ventilación, incluso recién instaladas (limpias).

La tasa de renovación necesaria (expresada como caudal de aire a intercambiar por unidad de superficie de invernadero) para mantener el salto térmico deseado puede obtenerse aplicando la siguiente ecuación, basada en una simplificación del balance de energía del invernadero y tomando como punto de partida la propuesta por ASAE (2003).

$$(1 - E) \cdot \tau \cdot I \cdot A_f = \left( U \cdot A_c + \frac{Q_v \cdot A_f \cdot c_{p_{int}}}{V_{int}} \right) \cdot (t_{int} - t_{ext})$$

E ..... coeficiente de evapotranspiración;

$\tau$  ..... transmisividad de la cubierta a la radiación solar;

I ..... radiación solar, W/m<sup>2</sup> de superficie;

$A_f$  ..... superficie, m<sup>2</sup>;

U ..... coeficiente global de transmisión de calor de la cubierta W/m<sup>2</sup>·°C;

$A_c$  ..... área de la cubierta, m<sup>2</sup>;

$Q_v$  ..... tasa de ventilación, m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>;

$c_{p_{int}}$  ..... calor específico del aire en el interior del invernadero, J/kg·°C;

$V_{int}$  ..... volumen específico del aire en el interior del invernadero, m<sup>3</sup>/kgaire;

$t_{int}$  ..... temperatura del aire en el interior del invernadero, °C;

$t_{ext}$  ..... temperatura del aire exterior °C.

Es decir, partiendo de unas condiciones climáticas exteriores y de las que pretendemos obtener en el interior del invernadero, podemos calcular la tasa de ventilación necesaria. Con ella, y seleccionando un determinado modelo, calcularemos el número de extractores a instalar. Por otro lado, tendremos que considerar las previsible pérdidas de carga que vendrán como consecuencia de la instalación de mallas de protección en las ventanas y otros factores como el porte del cultivo, etc.

### Recomendaciones de diseño

La ASAE (American Society of Agricultural Engineers) establece una serie de recomendaciones con respecto a los sistemas de ventilación forzada. También, aunque son pocos los ensayos sobre el tema en condiciones climáticas como las existentes en el arco mediterráneo, podemos complementar la normativa ASAE con la experiencia existente sobre instalaciones de este tipo realizadas en España. Entre estas recomendaciones podemos destacar las siguientes:

- Los extractores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a una presión estática de 0,015 kPa. Dicha presión deberá duplicarse en caso de instalar mallas de protección (mallas anti-insectos) o paneles evaporadores.

- Los extractores se separarán menos de 7,6 m unos de otros y se situarán, siempre que sea posible, en el lateral de sotavento. En el caso de tener que ubicarlos en la banda de barlovento, deberemos incrementar un 10% la capacidad de ventilación de los mismos.

- Debe existir una distancia de cuatro o cinco veces del diámetro del extractor entre el punto de expulsión del aire y el obstáculo más cercano. Si esto no es posible, habría que considerar la posibilidad de instalarlos en el techo, en la vertiente central del invernadero.

- Para evitar entradas de aire indeseadas cuando los extractores no estén en funcionamiento, así como para evitar pérdida de carga, las aperturas de entrada deben tener rejillas monitorizadas que abran hacia afuera y sólo se abrirán cuando los extractores entren en funcionamiento. Las rejillas de salida también abrirán hacia afuera, movidas por algún sistema como el de contrapesos o la propia presión que imprime al aire el ventilador. Los ventiladores dispondrán siempre de rejillas de protección de acuerdo con la legislación para prevenir accidentes.

- La superficie de las ventanas de entrada de aire será de al menos 1,5 veces el área de los ventiladores. Estas ventanas estarán dispuestas en todo el lateral opuesto a la banda donde están situados los extractores, y a no más de 45 m de éstos. En el caso de instalar paneles evaporadores, la geometría de éstos condicionará la entrada de aire; es decir, la altura vertical no debe superar los 2,4 m, ni ser inferior a 0,6 m, para asegurar la uniformidad del humedecimiento del panel.

Para facilitar el arranque de los extractores, así como para poder modificar la tasa de ventilación en función de las variables ambientales, es recomendable poder conectar distinto número de ellos y no que todos funcionen siempre a la vez.

Los instrumentos de medida y control deben estar protegidos de la radiación solar, alojados en cajas con material reflectivo, o al menos blanco. Se debe asegurar que circule aire alrededor de los controles a velocidad entre 3 y 5 m·s<sup>-1</sup>. Para ello se pueden instalar ventiladores mecánicos que extraigan el aire de la caja que contenga a los sensores. Dicha caja no debe situarse necesariamente en el centro del invernadero, hoy día existen herramientas como la Dinámica de Fluidos Computacional, que nos permiten predecir el ambiente de cada punto del invernadero para de esta forma, por ejemplo, situar los sensores en la ubicación adecuada.

Finalmente, no debemos olvidar los condicionantes que nos



Invernadero con ventilación forzada y medidor de humedad.

impondrá el problema que pretendemos resolver (excesos de temperatura, humedad...), tipo de invernadero, tamaño, orientación existente, pendiente, hermeticidad, solidez de la estructura, disposición de las líneas y porte del cultivo, potencia eléctrica disponible, invernaderos vecinos y estrategias de control.



En los últimos años se ha instalado ventilación forzada también en algunos invernaderos de tipo Almería, para intentar mitigar el gran déficit de intercambio de aire que se produce debido a las excesivas anchuras de las estructuras, que pueden alcanzar fácilmente los 100-120 m.

Arellano (2004) evaluó la efectividad de los sistemas de ventilación forzada instalados en Almería y en invernaderos tipo Almería. Comparó el sistema tradicional (ventilación natural-VN), con la ventilación forzada de quince renovaciones de aire por hora (VF15 - la instalada casi en todos los casos), y con un sistema de ventilación forzada de treinta renovaciones de aire por hora (VF30). Utilizó como material vegetal un cultivo de tomate en la campaña primavera-verano de 2003.

El salto térmico (temperatura interior menos temperatura exterior) promedio en los sistemas de VF30 y VF15, alcanza los 4,5 °C y el sistema VN alcanza los 3 °C. Por lo tanto, el sistema de ventilación natural es aún más eficiente que los sistemas de VF15 y VF30 para el desalojo de los excesos de temperatura en este cultivo y temporada.

Con respecto a la humedad relativa, los sistemas de ventilación forzada (VF30 y VF15) registran similares valores y ambos presentan una diferencia de más del 5% de humedad relativa con respecto al sistema de ventilación natural, durante el período de 10 a 21 h. En general, el sistema de ventilación natural se muestra más eficiente para el desalojo de las altas humedades.

El sistema de ventilación natural registró menores temperaturas, humedades relativas y humedades absolutas en comparación con ambos sistemas de ventilación forzada. Por lo tanto, el sistema de ventilación forzada,



Exterior de un invernadero con ventilación forzada.

## EXPO AGRO-ALMERÍA dossier

aun el VF30, no superó los efectos microclimáticos positivos registrados en el sistema de ventilación natural. En teoría, estos sistemas de ventilación forzada fueron creados para extraer las altas temperaturas generadas en verano en el interior del invernadero. Queda demostrado que para este cultivo no es necesaria la utilización de este tipo de sistemas, ya que la ventilación natural, junto con altos índices de área foliar, establecen las condiciones microclimáticas más cercanas a los niveles óptimos para este cultivo.

En cuanto al rendimiento total de fruto, no se registraron diferencias significativas entre los sistemas de ventilación, al nivel del 95% de probabilidad. Sin embargo, la evaluación por categorías sí muestra diferencias significativas. Las categorías M y G resultaron ser más productivas en los sistemas de ventilación forzada; con diferencias promedio de 846 y 1.337 g·m<sup>-2</sup> con respecto al sistema de ventilación natural. El sistema de ventilación natural produce la mayor cantidad de frutos de la categoría GG, con una diferencia promedio de 1.705 g·m<sup>-2</sup>. Estas discrepancias en las categorías hacen que el rendimiento final resulte similar en los tres sistemas estudiados. Es decir, no se presentaron diferencias significativas en la producción, aunque con el sistema de ventilación natural se obtuvieron los frutos de mayor tamaño (los más caros). Teniendo en cuenta tanto el coste de instalación como el consumo de energía eléctrica, los sistemas instalados estos últimos años en esta zona no están cubriendo las expectativas para las que se diseñaron.

La ventilación forzada es una técnica de control climático de invernaderos conceptualmente buena, pero deben considerarse especialmente las limitaciones expuestas. Es evidente que los invernaderos deben aprovechar los recursos naturales de la zona donde se instalan; así, por ejemplo, si estamos en una zona ventosa, probablemente mejorando la ventilación natural (pasiva) sea suficiente para mejorar el microclima del invernadero, siendo recomendable la ventilación forzada sólo en algunas aplicaciones muy particulares.

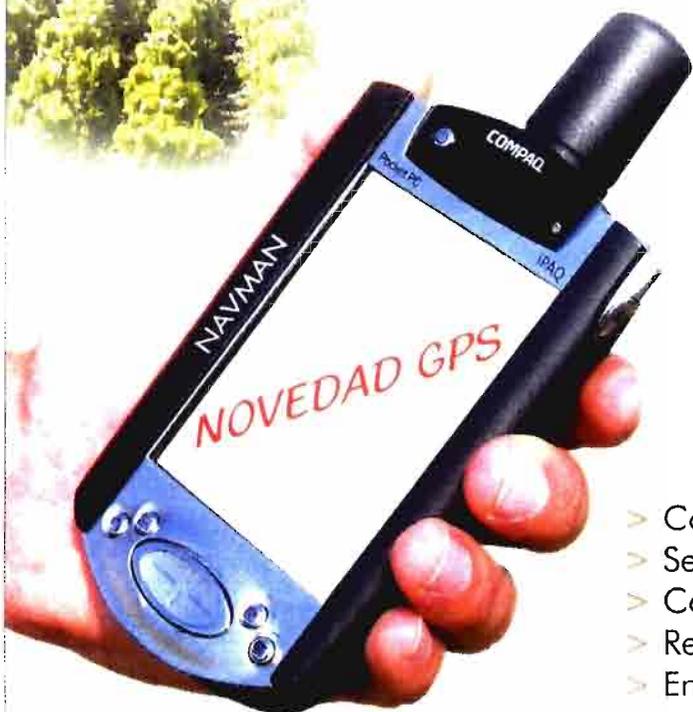
Se aconseja esta técnica como un complemento de la ventilación natural, utilizando ésta siempre que sea suficiente y aplicando ventilación forzada únicamente cuando la natural no evacue los excesos de temperatura o humedad. ■

### Bibliografía

Arellano, M.A. 2004. Caracterización Microclimática del Invernadero Almería y Análisis de la Ventilación Forzada como Vía de Mejora de los Parámetros Ambientales que Optimicen la Producción y Calidad de Diversos Cultivos Hortícolas. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España.

ASAE Standards. 2003. ANSI/ASAE P406.4 JAN03. Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. USA.

## SAMARGEN : PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA LA GESTIÓN AGRARIA



- > Costes de producción por parcela, variedad, planta,...
- > Seguimiento técnico de cultivos : Trazabilidad, PI, Eurep gap,...
- > Control de almacén: compras, consumos, stocks,
- > Recogida de datos en campo: Agri-Pocket,
- > Enlace: planos, contabilidad, facturación.

