

APLICABLES A LOS INVERNADEROS MEDITERRÁNEOS AJUSTANDO LOS DISTINTOS PARÁMETROS AL TIPO DE PANEL

Eficacia de los paneles evaporativos en la refrigeración de invernaderos

■ D.L. Valera, A. Franco y A. Madueño.

Universidades de Almería y Sevilla.

El principal método utilizado para disminuir la temperatura interior de los invernaderos es la ventilación asociada con el sombreado, pero hay muchas situaciones en que esta asociación de sistemas no es suficiente para efectuar una bajada significativa. En estas circunstancias se recurre a la refrigeración por evaporación de agua, cuyos máximos exponentes en horticultura protegida son los paneles evaporativos y las boquillas de nebulización.

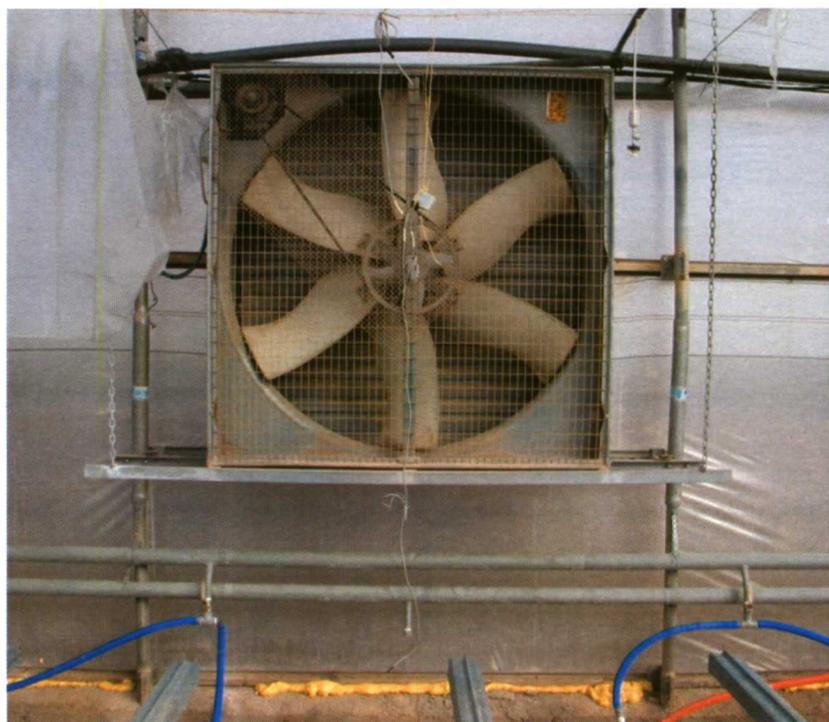
Foto 1 (abajo izda.). Paneles evaporativos colocados parcialmente en el lateral de un invernadero. Foto 2 (abajo dcha.). Extractor colocado en el lado opuesto al de los paneles.

La concepción inicial de los paneles evaporativos y las boquillas de nebulización está vinculada a la refrigeración, aunque actualmente en muchas zonas como en el sureste de España se utilizan para mantener un adecuado régimen higrométrico, fundamentalmente en las primeras fases de desarrollo del cultivo y en épocas con alta demanda de evapotranspiración. De esta forma se puede, por ejemplo, adelantar la fecha de trasplante de algunos cultivos de otoño-invierno, efectuando esta labor cultural a finales de agosto.

En este artículo nos centraremos en el primero de los sistemas, analizando su eficacia y limitaciones en los invernaderos mediterráneos.

La refrigeración evaporativa de invernaderos

Estos sistemas se basan en la evaporación de agua en el interior del invernadero, produciendo un descenso de la temperatura y un au-



mento de la humedad. El cambio de fase, de líquido a vapor, requiere energía que se extrae del aire del invernadero, enfriándolo y aumentando su contenido de humedad. Se produce un cambio de calor sensible (descenso de la temperatura) por calor latente (aumento del contenido de vapor en la mezcla de aire húmedo). En termodinámica el proceso se llama “adiabático” y la entalpía permanece prácticamente constante.

El descenso en la temperatura dependerá de la cantidad de agua evaporada, que a su vez es función de la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y transpiración del cultivo.

La eficacia de estos sistemas se ve comprometida en situaciones con elevada humedad ambiental, como las zonas costeras; pero como consecuencia de la gran variación en la humedad dentro del invernadero a lo largo de un día, estos dispositivos son eficaces en las horas centrales del día, justo cuando la temperatura ambiental es elevada y son más necesarios, ya que en estas condiciones la humedad relativa es más baja.

Aunque son múltiples los sistemas de enfriamiento o humidificación que utilizan esta técnica, se han impuesto en los invernaderos los sistemas de nebulización (Fog Systems) y los paneles evaporativos (Cooling Systems).

Un panel evaporativo es una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego que la aplica en su parte superior (**figura 1**). El aire, al atravesar el panel saturado, se impregna de pequeñísimas gotas de agua que, al entrar en el invernadero y encontrarse con una temperatura elevada, se evaporan, produciendo inicialmente un descenso en la 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.

Los paneles se sitúan a lo largo de todo o parte del lateral del invernadero (**foto 1**), normalmente el lado norte para evitar el efecto de sombreado. También es recomendable disponerlos enfrentados a los vientos dominantes en verano. En el extremo opuesto se instalan extractores de gran caudal (**foto 2**) que generan una succión en el interior del invernadero, provocando que todo el aire que entra lo haga a través de los citados paneles. Dicho aire deberá atravesar los paneles y será expulsado por los extractores. Por lo tanto, este sistema requiere estructuras muy herméticas para evitar que entre aire sin humedecer. Esta limitación ha provocado que en estructuras relativamente poco herméticas, como es el caso del invernadero Almería, se haya impuesto otro de los sistemas evaporativos menos exigente en este aspecto: las boquillas de nebulización.

La instalación se completa con el sistema de recirculación de agua, compuesto principalmente por una bomba hidráulica de impul-

Figura 1.

Esquema de funcionamiento de un panel evaporativo (Munters).



Foto 3. Sistema de recogida del agua.

Estos sistemas se basan en la evaporación de agua en el interior del invernadero, produciendo un descenso de la temperatura y un aumento de la humedad. El descenso en la temperatura dependerá de la cantidad de agua evaporada, que a su vez es función de la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y transpiración del cultivo

sión, 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 y reutilización del exceso de agua drenada (**foto 3**). En función del tipo de pantalla, se requieren caudales de agua de cuatro a diez litros por minuto y metro lineal de panel.

Las ventajas de este método son su simplicidad de funcionamiento y, fundamentalmente, que no entraña ningún riesgo de mojar las hojas del cultivo, disminuyendo la incidencia de enfermedades criptogámicas.

A pesar de los inconvenientes, como el coste de instalación y los consumos de agua y energía, los paneles evaporativos son una alternativa útil en la refrigeración de los invernaderos. La elección adecuada del panel evaporativo requiere conocer distintos parámetros de funcionamiento como la resistencia que ofrece al flujo de aire, la eficiencia de saturación del aire, los coeficientes de transferencia de calor y masa, el consumo de agua, etc.

Características de los paneles evaporativos

Tipos de paneles y dispositivo de ensayo

Los paneles más empleados son de celulosa corrugada, formados por láminas acanaladas pegadas entre sí con distintos ángulos de es-

Figura 2.

Paneles de celulosa ensayados: a) panel de 60-30° y 100 mm; b) panel de 45-45° y 100 mm, y c) panel 60-30° y 50 mm de espesor.

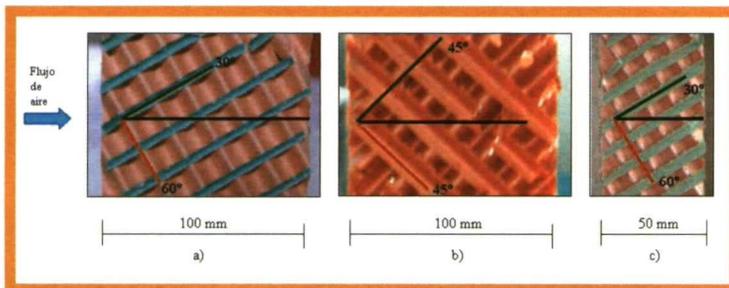


Figura 3.

Resistencia al paso de aire del panel para distintas velocidades de aire.

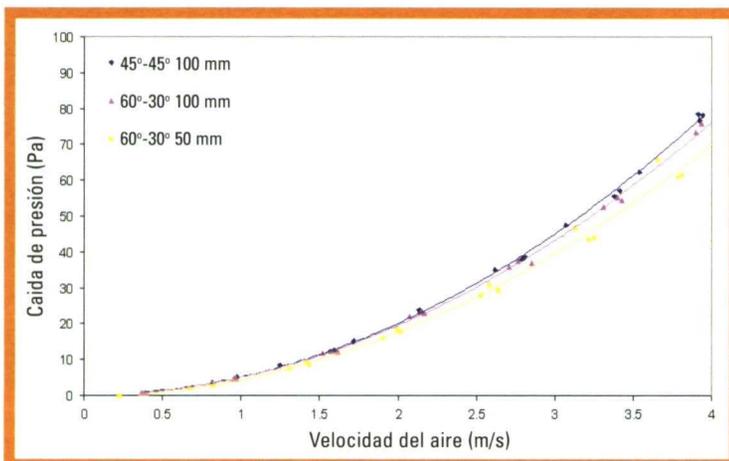
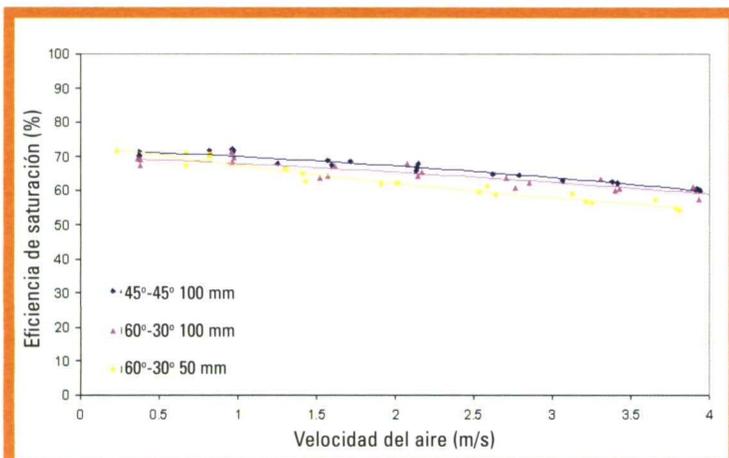


Figura 4.

Eficiencia de saturación en función de la velocidad del aire.



trías. También se usan diversos tipos de fibras (vidrio, plástico, madera, etc.), que pueden impregnarse con agentes mojantes para aumentar la superficie de evaporación y disminuir la resistencia al flujo de aire.

La **figura 2** muestra tres tipos de paneles de celulosa con distintas configuraciones (panel de 60-30° de 100 mm, panel de 60-30° de 50 mm y panel de 45-45° de 100 mm de espesor), ensayados en un túnel de viento de baja velocidad diseñado y construido en el Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería (Valera *et al.*, 2005).

Caída de presión producida por los paneles

La resistencia que ofrece el panel al paso del aire depende de la velocidad de éste y de parámetros característicos del panel como el espesor y la porosidad. En la **figura 3** se muestra la resistencia que ofrecen los tres paneles de celulosa ensayados en el túnel de viento, con un caudal de agua de 6,6 litros por minuto y metro lineal de panel.

A una velocidad de un metro por segundo, la caída de presión es similar en los tres paneles, en torno a los 5 Pa. Comparando los paneles de 100 mm de espesor, el panel 45-45° ofrece una resistencia mayor, en torno al 2 y 5%, que el panel 60-30°. Si hacemos lo mismo con los paneles con el mismo ángulo de estrías y diferente espesor, el panel de 100 mm ofrece una resistencia al paso entre el 11,6 y 14,8% superior que el panel de 50 mm.

Eficiencia de saturación del aire

La eficiencia de saturación del aire se define como «el cociente entre la caída de temperatura del aire producida al atravesar el panel y la máxima caída posible en condiciones de saturación del aire». Está afectada por la velocidad del aire, el espesor, el ángulo de estría y la superficie de transferencia de los paneles.

Conforme aumenta la velocidad del aire a través del panel, el tiempo de contacto entre el aire y el agua es menor, disminuyendo el grado de saturación del aire, y por tanto siendo menor la eficiencia de saturación. Lo mismo ocurre con el espesor del panel: a menor espesor del panel, menos espacio para el contacto, y por lo tanto menor eficiencia.

La **figura 4** muestra la eficiencia de saturación a distintas velocidades de paso, para los tres tipos diferentes de paneles mencionados anteriormente, para un caudal de agua de 6,6 litros por minuto y metro lineal de panel.

La máxima eficiencia de saturación ocurre para una velocidad de paso de 0,5 m/s, siendo ésta del 71%, 70% y 69% para paneles de 45-45° y 100 mm, 60-30° y 100 mm y 60-30° y 50 mm, respectivamente.

Consumo de agua

El consumo de agua por parte de los paneles es un parámetro muy importante, debido a la escasez de este recurso y a que con él podemos dimensionar la bomba de impulsión y el depósito para la recirculación de agua. La cantidad de agua evaporada por el panel está relacionada con la temperatura y humedad relativa del aire exterior, con la velocidad de paso del aire a través del panel y con las características constructivas del panel (espesor, área de transferencia, ángulo de estría, etc.).

En la **figura 5** se muestra el consumo de agua de los tres paneles estudiados a distintas velocidades. Se expresa en kg de agua evaporada a la hora por m² de panel y °C de reducción de la temperatura.

El panel con mayor consumo es el 60-30° y 100 mm, con un 3,2% superior al 45-45° y 100 mm y con un 5,8% superior al 60-30° y 50 mm.

Gradiente de temperatura en el interior del invernadero

Uno de los inconvenientes de este sistema es la falta de uniformidad en el microclima que provoca en el invernadero, que se caracteriza por temperaturas crecientes y caídas de humedad a lo largo del in-

Figura 5.

Cantidad de agua evaporada por el panel para distintas velocidades de aire.

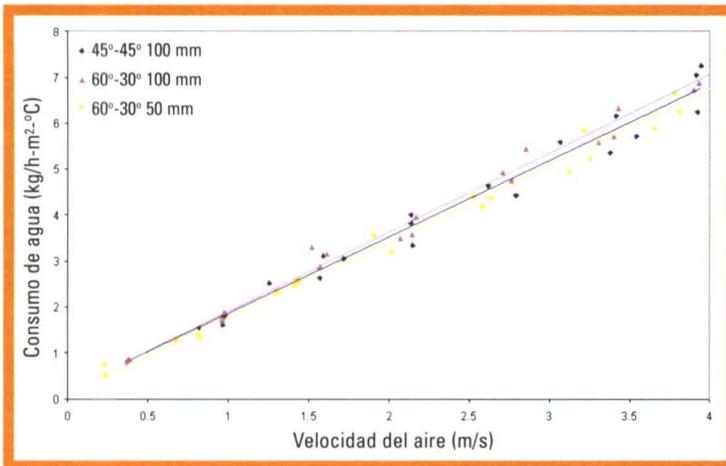
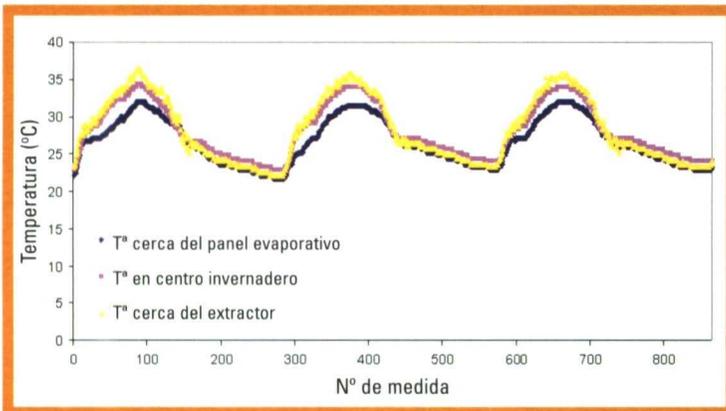


Figura 6.

Variación de temperatura del invernadero en tres puntos distintos: cerca del panel evaporativo, en el centro del invernadero y cerca del extractor.



vernadero y en la dirección del flujo de aire. Para evitar estos problemas, no se recomienda que la distancia entre los paneles y los extractores (anchura del invernadero) supere los 45 metros. Esta limitación hace que se empleen casi exclusivamente en invernaderos de tipo industrial y que sea desaconsejable en invernaderos Almería, generalmente de grandes dimensiones.

El grupo de investigación "Ingeniería Rural" del Plan Andaluz de Investigación ha realizado ensayos experimentales en un invernadero comercial situado en Almería, de 30 m de ancho y con mallas de sombreo donde se han registrado gradientes de temperatura de más de 4°C entre la salida del panel y la entrada del extractor (figura 6).

Conclusión

Como conclusión general, podemos decir que estos sistemas son aplicables a los invernaderos mediterráneos, siempre y cuando se ajuste para cada tipo de panel la velocidad a la que tiene que ser atravesado por el aire, el caudal de agua a aportar por metro lineal de panel y el diseño del sistema de irrigación y recirculación, entre otras consideraciones de especial interés para que el sistema sea eficaz. Para ello son imprescindibles los ensayos esbozados previamente. ■

Para Fertirrigar, Controladores

PROGRES



El controlador más vendido del mercado

AGRONIC 2000

Fertirrigación convencional por tiempo o volumen, con modelos de 6 a 26 salidas configurables para sectores de riego, 1 motor, 4 fertilizantes, 4 agitadores, 1 inyectora y 9 filtros, más 5 entradas de señales. Opcionalmente, control de motores diesel, activación de solenoides latch, etc.

AGRONIC 4000

Completo controlador para la fertirrigación convencional con modelos de 16 a 96 salidas configurables para sectores de riego, 4 motores, 8 fertilizantes, 8 agitadores, ilimitado número de filtros, limpieza de inyectoras y salidas alarma, más 12 entradas de señales. Actuaciones por tiempo, volumen y mixtas.

Opcionalmente, regulación del pH y lectura con alarma de la CE, control de motores diesel, activación de solenoides tipo latch, salidas analógicas para variadores de frecuencia, telegestión de datos mediante PC y/o a través de la recepción y envío de mensajes GSM de móvil, actuación sobre válvulas vía radio o monocabla, etc. A través de sondas puede influir en el inicio o en las unidades de riego y fertilización programadas.

Progres dispone además de otros controladores para la fertirrigación convencional e hidropónica, limpiar filtros, regular el bombeo, automatizar motores diesel, conocer las necesidades hídricas, gestionar comunidades de regantes, climatizar invernaderos y granjas, telegestionar por telefonía fija o móvil y vía radio, etc.



SISTEMAS ELECTRÓNICOS
PROGRES, S.A.

Av. Urgell, 23 • 25250 BELLPUIG (Lleida) España
Tel. +34-973 320 429 • Fax. +34-973 337 297

e-mail: info@progres-spain.com <http://www.progres-spain.com>