



# REFRIGERACIÓN DEL INVERNADERO MEDIANTE SOMBREO Y HUMIDIFICACIÓN

Diego Luis VALERA MARTÍNEZ y Francisco Domingo MOLINA AIZ  
*Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería*

1. Necesidades de refrigeración.
  2. Refrigeración por evaporación de agua.
  3. Pantallas evaporadoras.
  4. Eficacia de la refrigeración mediante pantallas.
  5. Nebulización.
  6. Sistemas de sombreo.
  7. Bibliografía.
- 

## 1. Necesidades de refrigeración

En zonas áridas, con altas temperaturas y baja humedad relativa, es recomendable el uso de sistemas de refrigeración por evaporación de agua, que permiten de forma simultánea una disminución de la temperatura y un aumento de la humedad del aire, lo que favorece el desarrollo de los cultivos.

Normalmente en zonas áridas no se dispone de agua de buena calidad mientras que si se puede disponer de agua con elevada salinidad no apta para el riego. Por eso a veces es necesario el uso de desaladoras instaladas en las propias fincas.

Los requisitos necesarios para un sistema de evaporación de agua en invernaderos son los siguientes (Lüchow y von Zabeltitz, 1992):

- Alta eficiencia de refrigeración, caracterizada por un elevado coeficiente de intercambio de calor.
- Bajo coste de inversión.
- Bajo consumo energético.
- Larga vida útil incluso funcionando con agua de mala calidad, con alta salinidad o dureza.
- Bajo consumo de agua.
- Resistencia a la arena y el polvo.
- Alta eficiencia incluso con fuertes vientos.
- Uniformidad en la distribución de temperaturas en el invernadero.

## 2. Refrigeración por evaporación de agua

El agua al pasar del estado líquido a vapor, absorbe calor. Al utilizar un equipo capaz de vaporizar agua en el invernadero, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero disminuyendo la temperatura ambiente.

La evaporación del agua continúa como máximo hasta que el aire se satura (humedad relativa del 100%). La temperatura del aire en condiciones de saturación se llama temperatura húmeda. No es posible bajar la temperatura ambiente por debajo de la temperatura húmeda, puesto que el aire no admite más cantidad de agua en el estado gaseoso. Todo el proceso de saturación transcurre de manera que la energía de la mezcla aire y vapor de agua no varía. 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.

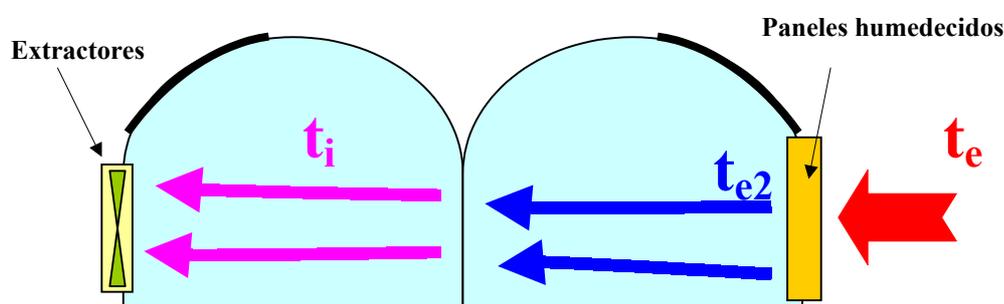
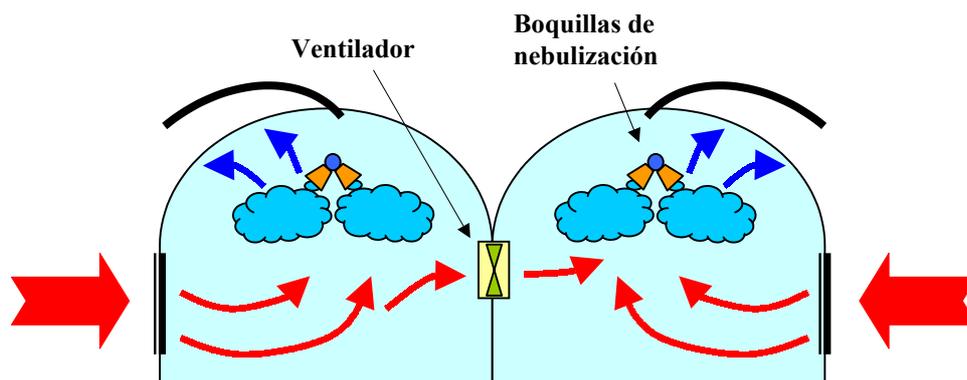


Figura 52. Flujo de aire en un invernadero con refrigeración mediante paneles evaporadores.

La cantidad de agua evaporada dependerá de la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la transpiración del cultivo (Montoya et al., 1995).

La refrigeración por evaporación es mucho más efectiva en climas secos. En clima húmedo el invernadero debe tener tasas de ventilación elevadas para que su temperatura esté por debajo de la exterior. En clima seco la combinación de la evaporación y la ventilación puede reducir la temperatura hasta cerca de 10°C por debajo de la exterior (Montero et al., 1990). Pero también es efectiva en climas húmedos, debido a las grandes variaciones del régimen higrométrico dentro del invernadero en un mismo día. El sistema de refrigeración es necesario en las horas centrales del día, justo cuando la humedad relativa es menor.



**Figura 53. Flujo de aire en un invernadero con refrigeración mediante nebulización**

Durante el tiempo de uso de los evaporadores (boquillas o pantallas) el invernadero debe estar ventilado. Es un error cerrar las ventanas cuando los nebulizadores u otros equipos similares están en funcionamiento ya que la ventilación aumenta la eficacia de los equipos evaporadores (Lansberg et *al.*, 1979). Por otra parte, si la ventilación es alta, el equipo de humectación debe tener capacidad suficiente para añadir el vapor de agua que se escapa por las ventanas. La cifra de 20 a 30 renovaciones horarias parece un buen término medio, y es una tasa de ventilación que puede alcanzarse en la mayoría de invernaderos con ventanas cenitales incluso en días de poco viento (Montero et *al.*, 1994).

Los equipos de refrigeración por evaporación son extraordinariamente eficaces en invernaderos con cultivos en las primeras fases de desarrollo, logrando descensos térmicos de 8-12°C (Lansdberg et *al.*, 1979)

Frecuentemente se utilizan esencialmente para aumentar la humedad relativa, no para disminuir la temperatura.

### **3. Pantallas evaporadoras**

Se trata de una pantalla de 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 eléctricos. El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe humedad y baja su temperatura, y tras entrar en contacto con el aire que hay en el interior del invernadero, es expulsado por los ventiladores.



**Figura 54. Paneles evaporadores con protección exterior.**

El rendimiento de un buen equipo se acerca al 85%. La pantalla suele estar confeccionada bien con fibras como virutas de madera o con materiales celulósicos en lámina corrugadas y pegadas con aditivos. Salvo por su precio, las pantallas celulósicas son mejores que las de fibra por las siguientes razones:

1. Admiten agua de peor calidad. Las pantallas de fibras necesitan un soporte que las contenga, que suele ser una tela metálica muy atacable por las sales. En cambio, las pantallas de celulosa no necesitan estructuras auxiliares de sujeción y resisten aguas muy salinas si el aditivo que une las láminas es resistente a la salinidad.
2. Con el tiempo, la fibra tiende a compactarse dentro de su soporte, dejando huecos por los que entra el aire sin humedecerse adecuadamente.
3. Tienen mayor superficie de contacto y, por tanto, se puede reducir el área de pantalla a instalar.

Para el diseño de las instalaciones de pantallas evaporadoras se pueden seguir las normas norteamericanas (ASAE, 1981) resumidas a continuación:

- El sistema de ventilación debe tener la capacidad y las características recogidas en el apartado 8.5.
- La mejor distancia desde la pantalla a los ventiladores es la comprendida entre 20 y 25 m. En invernaderos muy largos se pueden instalar ventiladores en el centro sobre el techo y las pantallas en ambos extremos.

- Para tener un flujo uniforme de agua la altura de las pantallas verticales no debe ser mayor de 2.5 m ni menor de 0.5 m.
- Siempre que sea posible se deben situar las pantallas a barlovento.
- Es conveniente que los extractores de un invernadero mantengan una distancia mínima de 15 m con la pantalla evaporadora de otros invernaderos adyacentes, para evitar que el aire expulsado de uno de ellos penetre en los restantes.
- Los extractores de los invernaderos próximos no deben estar enfrente unos de otros. O bien se instalan alternando sus salidas o si están enfrente se debe mantener una separación mínima de cuatro veces su diámetro.
- La velocidad óptima del aire a través de la pantalla evaporadora es función del material de la pantalla, recomendándose los siguientes valores:

**Tabla 16. Valores recomendados de la velocidad del aire a través de las pantallas evaporadoras.**

<i>Tipo de pantalla</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>
Pantalla de fibras:	
Montada verticalmente	0.75
Montada horizontalmente	1.00
Pantalla de celulosa:	
Grosor 100 mm	1.25
Grosor 150 mm	1.75

- El volumen de agua a aportar a las pantallas evaporadoras horizontales es como máximo 0.2 l/s por m<sup>2</sup> de pantalla.
- Para pantallas verticales, el caudal de agua a aportar y el volumen del depósito que recoge el agua no evaporada y posteriormente reciclada debe ser:

**Tabla 17. Caudal de agua a aportar y volumen del depósito que recoge el agua no evaporada para varios tipos de pantallas evaporadoras.**

<i>Tipo</i>	<i>Caudal mínimo l/min por metro lineal de pantalla</i>	<i>Volumen del depósito de agua (l/m<sup>2</sup> de pantalla)</i>
Fibras 50-100 mm grosor	4	20
Fibras 50-100 mm (climas áridos)	5	20
Celulosa 100 mm grosor	6	30
Celulosa 150 mm grosor	10	40

- La bomba de riego de las pantallas puede estar controlada por un termostato y un humidostato conectados en serie. El humidostato sirve para controlar posibles excesos

de humedad. Ambos controles deben instalarse en una caja protegida de la radiación y en corriente de aire aspirada a una velocidad mínima de 3 m/s.

- Por último, es muy importante tener en cuenta que el invernadero debe ser hermético, de manera que todo el aire forzado por los ventiladores penetre únicamente a través de las pantallas. De existir otras aberturas, el aire entrará por ellas sin recibir aporte de humedad y el «cooling» no será eficaz.

#### 4. Eficacia de la refrigeración mediante pantallas

El caudal de aire que entra a través de los paneles evaporadores dependerá de la tasa de renovación del invernadero:

$$qu_{ren} = R \cdot V_{inv} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

La masa de aire intercambiada entre el interior y el exterior del invernadero, en un determinado periodo de tiempo, mediante ventilación será:

$$m_a = \rho_a \cdot qu_{ren} \cdot t \quad [\text{kg}]$$

donde,

$\rho_a$  densidad del aire, 1.2923 [kg/m<sup>3</sup>] (0°C y presión atmosférica)  
 $t$  periodo de tiempo [h].

El coeficiente agua/aire del sistema de humidificación viene representado por la relación (Chiumenti et al., 1996):

$$E = m_w / m_a \quad [\text{kg}/\text{kg}]$$

Donde,

$m_a$  cantidad de aire que pasa por el sistema de refrigeración de agua [kg]  
 $m_w$  cantidad de agua vaporizada [kg]

La eficiencia adiabática de refrigeración del aire entrante en el invernadero es:

$$\eta_a = (t_e - t_{e2}) / (t_e - t_{em})$$

donde,

$t_e$  temperatura exterior [°C].  
 $t_{e2}$  temperatura del aire refrigerado que entra en el invernadero [°C].  
 $t_{em}$  temperatura exterior de bulbo húmedo [°C].

La eficiencia de refrigeración evaporativa del aire en el invernadero:

$$\eta_c = (t_y - t_i) / (t_y - t_{im})$$

donde,

- $t_i$  temperatura interior con evaporación de agua [°C].
- $t_y$  temperatura interior sin evaporación de agua [°C].
- $t_{im}$  temperatura interior de bulbo húmedo [°C].

La humidificación del aire exterior mediante paneles evaporativos produce un aumento en el contenido de agua del aire exterior desde un valor inicial  $x_e$ , hasta otro final,  $x_{e2}$ . Se produce un proceso de mezcla adiabática de aire húmedo y agua líquida definido por las siguientes ecuaciones:

$$m_a \cdot x_e + m_w = m_a \cdot x_{e2}$$

$$m_a \cdot i_e + m_w \cdot i_w = m_a \cdot i_{e2}$$

con lo que la humedad absoluta y entalpía del aire que entra en el invernadero tras pasar por los paneles son:

$$x_{e2} = x_e + m_w / m_a = x_e + E$$

$$i_{e2} = i_e + (m_w / m_a) \cdot i_w = i_e + E \cdot i_w$$

donde,

- $i_e$  entalpía específica del aire en el exterior del invernadero [J/kg].

La entalpía específica del agua se define mediante la expresión:  $i_w = c_{pw} \cdot t_w$

donde,

- $c_{pw}$  calor específico del agua, 4.128 [kJ/kg·°C]
- $t_w$  temperatura del agua [°C].

La entrada del aire exterior humedecido en el invernadero produce una mezcla de dos corrientes de aire húmedo con intercambio de calor. El aire exterior tras pasar por los paneles evaporadores, se encuentra a una determinada temperatura y humedad absoluta ( $t_{e2}$ ,  $x_{e2}$ ). En el interior del invernadero la temperatura se eleva debido al aporte energético de la radiación solar y los equipos de calefacción, y la humedad del aire se incrementa por causa de la elevada transpiración del cultivo y la evaporación del agua contenida en el suelo ( $t_y$ ,  $x_y$ ).

Las ecuaciones de conservación de la masa y la energía que definen la mezcla de las dos corrientes de aire, con intercambio de energía se plantean de la forma siguiente:

#### a) Conservación de la masa de cada componente:

Conservación de la masa de aire seco:  $m_a + m_{ay} = m_{ainv}$  [kg]

Donde la masa total de aire contenida en el invernadero se puede determinar mediante la expresión:

$$m_{ainv} = \rho_a \cdot V_{inv} \quad [\text{kg}]$$

Conservación de la masa de agua:  $m_a \cdot x_{e2} + m_{ay} \cdot x_y = m_{ainv} \cdot x_i \quad [\text{kg}]$

### b) Conservación de la energía:

El primer principio de la termodinámica para un sistema abierto en régimen permanente, despreciando la energía mecánica (cinética y potencial), establece:

$$Q + m_a \cdot i_{e2} + m_{ay} \cdot i_y = m_{ainv} \cdot i_i$$

De las ecuaciones anteriores se deduce la humedad absoluta y entalpía de la mezcla,

$$x_i = (m_a \cdot x_{e2} + m_{ay} \cdot x_y) / m_{ainv}$$

$$i_i = (Q + m_a \cdot i_{e2} + m_{ay} \cdot i_y) / m_{ainv}$$

La entalpía específica del aire seco,  $i_a$ , se calcula por la expresión:

$$i_a = c_{pa} \cdot t \quad [\text{J/kg}]$$

Siendo  $c_{pa}$  el calor específico del aire a presión constante, que vale 1.0057 [kJ/kg·°C]. (0°C y presión atmosférica, 1 atm.)

La entalpía del vapor de agua en el aire húmedo no saturado ( $x \leq x_s$ ) es:

$$I_v = r_o + c_{pv} \cdot t \quad [\text{J/kg}]$$

donde,

$r_o$  entalpía de vaporización a 0°C, [2500 kJ/kg]  
 $c_{pv}$  calor específico del vapor recalentado, 1.86 [kJ/kg·°C]

La entalpía del aire húmedo no saturado es:

$$i_i = c_{pa} \cdot t_i + x_i \cdot (r_o + c_{pv} \cdot t_i) \quad [\text{J/kg}]$$

La temperatura final dentro del invernadero será:

$$t_i = (i_i - x_i \cdot r_o) / (c_{pai} + c_{pv} \cdot x_i) \quad [^\circ\text{C}]$$

Por último, señalar que este sistema provoca grandes gradientes de temperatura en invernaderos con anchura superior a los 30 m, circunstancia que suele ser la habitual.

## 5. Nebulización

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 del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos. Si las condiciones ambientales hacen que las gotas se depositen sobre las hojas, la cantidad de agua depositada es suficientemente pequeña como para no dañar los cultivos.

La nebulización reduce significativamente el flujo de transpiración del cultivo, de manera más o menos proporcional a la intensidad de nebulización. Su efecto se produce esencialmente sobre la componente advectiva de la transpiración, ya que el déficit de saturación interno sufre bajadas importantes durante los periodos de nebulización. La temperatura del aire del invernadero también sufre descensos significativos del orden de  $3\text{-}4^{\circ}\text{C}$  para elevadas intensidades de nebulización (Boulard et *al.*, 1991).



**Figura 55. Boquilla nebulizadora.**

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.

La presión de atomización y la forma de la boquilla son los principales factores que afectan la formación de gotas. El aumento de la presión da lugar a una disminución del diámetro de gotas sobre todo el espectro de goteo (Li, 1997).

Las boquillas se conectan a tuberías timbradas, instalando generalmente, una boquilla por cada  $6\text{-}8\ \text{m}^2$  de invernadero. El equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada ya que las boquillas pueden obstruirse fácilmente. Las boquillas de alta presión ( $40$  y  $60\ \text{kg/cm}^2$ ) 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  $6\ \text{kg/cm}^2$ . Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a presión. Se forman gotas de tamaño igual o menor a  $10\ \mu\text{m}$ .

## 6. Sistemas de sombreo

El sombreo de las plantas tiene como finalidad principal el reducir la temperatura de la planta y con ello disminuir su evapotranspiración. Con una elevada radiación solar, la temperatura de la planta aumenta, lo que implica una evapotranspiración de la planta más elevada. Esta evapotranspiración puede llegar a ser tan alta que el suministro que percibe a través de las raíces no pueda seguir manteniéndola, es por ello, que la planta puede quemarse o marchitarse, e incluso muchas especies en parecidas circunstancias, dejan caer una parte de las hojas. Aplicando una malla de sombreo, la intensidad de luz se reduce y la temperatura disminuye. Resulta muy recomendable asociar sombreo y ventilación.

En los invernaderos sin nebulización el sombreo reduce en gran manera la temperatura. Sin embargo cuando hay otra fuente de refrigeración, ya sea la transpiración del cultivo o la evaporación de agua, el sombreo pierde importancia relativa y tiene menos efecto sobre el clima interno.

### 6.1. Encalado blanqueo de la cubierta.

El blanqueo de las paredes a base de carbonato cálcico, o de cal apagada (esta última opción ya no se utiliza), es el sistema de sombreo más extendido en la horticultura protegida mediterránea. En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato cálcico o Blanco de España porque es más fácil de eliminar por lavado. En zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada. Bajo un punto de vista puramente técnico, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes. El primer aspecto negativo es la permanencia de la cal en el invernadero durante periodos de cielo cubierto. Los sistemas estáticos no permiten ajustar el grado de sombreo en función de las condiciones ambientales.

La aplicación de la cal no puede hacerse nunca con homogeneidad y por tanto existen diferencias en la cantidad de luz que llega a las plantas. La preparación de la mezcla también influye en la transmisión de radiación. Conforme aumenta la concentración de blanqueante la transmitancia se reduce, no favoreciéndose la transmitancia de radiación fotosintéticamente activa (PAR) frente a la del infrarrojo corto.

En Almería se han registrado descensos de 2°C con el empleo de cal, en estructuras tipo parral de 22 m de anchura y ventilación lateral. Esta reducción térmica no es espectacular, pero tampoco es despreciable. Aunque el encalado no logra por si solo un clima óptimo de cultivo en zonas cálidas, su relativa efectividad y la economía de su uso explican la popularidad de esta labor (Montero *et al.*, 1993).

En Argentina, Francescangeli *et al.*, (1994) compararon el efecto del blanqueado aplicado en dos densidades: 95 y 34 gramos de cal hidratada por cm<sup>2</sup> de cubierta, en disolución de 1 kg de cal por 5 litros de agua. En general, las diferencias de temperatura entre el testigo y los invernaderos blanqueados fueron de 2 a 3°C con las ventanas totalmente abiertas (18% de superficie respecto al suelo). La reducción media de la temperatura de las plantas de tomate fue de 4.6 °C para el blanqueado denso y 3.3°C para el liviano. El blanqueado afectó mucho más a la temperatura del suelo desnudo. La

superficie logró un descenso térmico de 8 a 9°C estando el invernadero totalmente abierto. Este hecho es muy importante durante las primeras fases de desarrollo del cultivo, que coincide con las épocas de mayor temperatura.

La aplicación de carbonato cálcico, denominado «Blanco España», sobre el plástico de la cubierta, es una práctica habitual en todos los invernaderos de la provincia de Almería como método de sombreo.

El blanqueo del plástico es especialmente necesario en agosto o principios de septiembre, cuando se transplantan los cultivos del vivero al invernadero. En este periodo se alcanzan las máximas temperaturas, superiores a 35°C, por lo que de no reducirse la radiación solar las plántulas se quemarían. Actualmente a veces se blanquean los invernaderos incluso en febrero o marzo. El carbonato cálcico se aplica utilizando el mismo equipo que para los productos fitosanitarios, de forma que el plástico queda cubierto de forma irregular lo que provoca diferencias de luminosidad en el interior del invernadero. No hay que olvidar que la disminución de la radiación que incidente sobre el cultivo es directamente proporcional a la caída del rendimiento.

En cultivo de pimientos los agricultores aplican el carbonato cálcico en julio, con una concentración de 0.25-0.3 kg/l, antes de realizar el trasplante. Para tomate se utilizan concentraciones de 0.18-0.25 kg/l en agosto. Para estos cultivos se vuelve a realizar otro blanqueo a finales de marzo o principios de abril, cuando comienza a aumentar el calor.

Para cultivos de primavera, como sandía y melón, se blanquea en marzo antes de transplantar dentro del invernadero.

Uno de los inconvenientes del blanqueo es que disminuye la duración tanto de los plásticos como de los sistemas de aplicación de productos fitosanitarios.

En los meses de octubre y noviembre desaparece el sombreo como consecuencia de las lluvias. De no ser así, es necesario eliminarlo aplicando agua para que no se produzcan disminuciones de radiación en la época invernal. Después se vuelve a aplicar a finales de abril, principios de mayo, en función de la climatología propia de cada año.

Esta técnica es fundamental para poder cultivar en los invernaderos de Almería, sobretodo en los invernaderos mal ventilados, donde se pueden conseguir descensos de 2°C mediante el blanqueo.

## **6.2. Mallas de sombreo.**

La radiación neta bajo la malla depende principalmente del porcentaje de sombra que proporciona y del tipo de material que lo constituye. Los materiales utilizados en la fabricación de las mallas son polietileno de baja densidad, fibras acrílicas o poliéster. Con el fin de aumentar la reflexión de las mallas las láminas pueden estar metalizadas con aluminio, denominándose en este caso como mallas aluminizadas.

En función de la colocación las mallas pueden ser para uso exterior o interior según se utilicen para cubrir el invernadero por fuera o bajo su cubierta dejando confinada una cámara de aire.

Las mallas de sombreo pueden desplegarse y replegarse mediante un sistema automatizado, a través de un controlador de tiempo o sensores de luz o temperatura.

Actualmente existe una amplia gama de mallas con distintos porcentajes de transmisión, reflexión y porosidad al aire. En general, las mallas aluminizadas son las que presentan las mejores prestaciones para su utilización en climas cálidos, siempre que su capacidad de reflexión no disminuya con el paso del tiempo por el desarrollo de algas o el depósito de polvo y suciedad.

La vida útil de las mallas de sombreo suele oscilar entre 4 y 8 años, mientras que la de las pantallas térmicas tratadas contra la radiación ultravioleta, puede llegar a los 10 años (Albadalejo y Plaisier, 1991).

Las mallas de sombreo se utilizan con el objetivo de reducir tanto la temperatura del aire como la transpiración del cultivo, por lo que deben transmitir un fracción suficiente de la radiación solar visible (0.38-0.76 micrones), necesaria para el proceso de fotosíntesis y reflejar la máxima cantidad de radiación de infrarrojo corto (0.76-2.5 micrones) en el espectro solar (Tesi, 1989).

La mayoría de las mallas de sombreo son de color negro o aluminizadas, aunque existen en diversos colores. Sin embargo las mallas coloreadas presentan el inconveniente de absorber la parte de radiación del espectro correspondiente a su color complementario lo que provoca el doble efecto negativo de una disminución de la radiación fotosintéticamente activa y un aumento de la temperatura de la malla.



**Figura 56. Malla de sombreo negra en un invernadero multicapilla.**

De igual forma la alta absorción que presentan las mallas de filamentos acrílicos a la radiación solar produce un incremento negativo de su temperatura (Tesi, 1989) y el calor acumulado por la malla se traslada al aire circundante y por lo que consiguen una menor reducción de la temperatura (Albadalejo y Plaisier, 1991).

Cuando la velocidad del viento es escasa y la radiación solar elevada, situación muy común en el área mediterránea la temperatura bajo una malla de sombreo puede llegar a ser excesiva.

La colocación de las mallas de sombreo en el exterior del invernadero produce una mayor disminución de la temperatura dentro del invernadero. La evacuación del calor que se genera por el incremento de temperatura en la malla, debido a la absorción de radiación, se produce en el exterior por acción del viento. Sin embargo, las mallas exteriores tienen el inconveniente de una vida útil más limitada, además de un montaje y una gestión automatizada más complejos. Además en zonas como la provincia de Almería donde existe un régimen de fuertes vientos se desaconseja este tipo de instalaciones.

En el caso de mallas interiores la energía absorbida por la red se transforma en un flujo de calor que debe ser eliminado mediante ventilación. Además, las mallas colocadas dentro del invernadero dificultan el movimiento vertical de aire desde la zona del cultivo, y el paso del aire caliente hacia las ventanas cenitales (Rampinini, 1989). Debido a ello es importante tener en cuenta que el sombreo debe asociarse a un sistema de ventilación eficiente que permita la eliminación de calor mediante el movimiento del aire entre las plantas y dentro del invernadero.

Las mallas aluminizadas son muy adecuadas para el sombreo debido a que las láminas de aluminio reflejan la radiación solar en un 100% y el sombreo de esta pantalla es una consecuencia de la reflexión, no de una absorción de la radiación solar (Albadalejo, 1991). Por ello, este tipo de mallas son un método de sombreo muy eficaz ya que reflejan una parte importante de la radiación incidente, reduciendo no sólo la intensidad luminosa, sino además el caldeo excesivo, tanto del ambiente como del suelo y las plantas, consiguiendo descensos de la temperatura de las plantas de 1 a 2°C (Boulard *et al.*, 1991).

Las mallas de sombreo fabricadas en España suelen ser de polietileno, aunque otros materiales como el polipropileno, el poliéster o derivados acrílicos se usan también para este propósito.

La mayoría de las mallas de sombreo convencionales son de plástico negro o verde. El porcentaje de sombreo ofrecido por la malla depende de la densidad del tejido. A veces la pantalla aumenta la temperatura relativa durante el verano, el calor acumulado por la malla se traslada al aire circundante y la conclusión, es que numerosas mallas de sombreo no reducen la temperatura (Albadalejo y Plaisier, 1991).

Con poco viento y clima soleado la temperatura existente bajo una malla convencional puede ser sofocante. Entre otros aspectos, uno de los inconvenientes que se presentan es que la vida útil de este tipo de mallas oscila entre 2 a 5 años, mientras que de la pantalla térmica tratada contra la radiación ultravioleta, la duración útil puede llegar a los 10 años (Albadalejo y Plaisier, 1991).

La utilización de mallas de sombreado puede reducir hasta en un 21% el consumo eléctrico de un sistema de refrigeración por evaporación de agua con «cooling system» (Willits y Peet, 2000).

## 7. Bibliografía

Albadalejo J. y Plaisier H., 1991.- Tecnología de umbráculos con pantallas térmicas aluminizadas. Parte I. *Horticultura*, **67**: 70-76.

Albadalejo J., 1991.- Rentabilidad de los umbráculos con pantalla térmica. *Horticultura*, **69**: 54-60.

ASAE, 1981.- Heating, ventilating and cooling greenhouses. *Agricultural engineers yearbook, ASAE Engineering Practice*, **406**: 401-404.

Boulard T., Baille A. y Le Gall F., 1991.- Etude de différentes méthodes de refroidissement sur le climat et la transpiration de tomates de serre. *Agronomie*, **11**: 543-553.

Francescangeli N., Ferrato J., Rosania A. y Levit H., 1994.- Efecto del blanqueado, sombreado y aspersión de agua sobre techo, en la temperatura y otros parámetros climáticos en invernaderos, durante el periodo estival. *Acta Horticulturae*, **357**: 267-294.

Landsberg J.J., White B. y Thorpe M.R., 1979.- Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments. *J. Agric. Engng Res.*, **24**: 29-39.

Li J., 1997.- Effect of pressure and nozzle shape on the characteristics of sprinkler droplet spectra. *J. Agric. Engng Res.*, **66**: 15-21.

Lüchow K. y Zabeltitz C. von, 1992.- Investigation of a spray cooling system in a plastic-film greenhouse. *J. Agric. Engng Res.*, **52**: 1-10.

Montero J.I. y Antón M.A., 1993.- *Tecnológica del invernadero*. Universidad de Buenos Aires, 129 p.

Montero J.I. y Antón M.A., 1994.- Evolución tecnológica de los invernaderos españoles. *Acta Horticulturae*, **357**: 15-28.

Montero J.I., Antón M.A., Biel C. y Franquet A., 1990.- Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturae*, **281**: 199-209.

Montoya R.E., Bucklin R.A., Nordstedt R.A., Van Horn Jr. J. y Bray D.R., 1995.- Factors affecting water usage in fan and sprinkler cooling systems for dairy cattle. *Applied Engineering in agriculture*, **11 (1)**: 125-130.

Rampinini G., 1989.- L'evoluzione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento. *Colture Protette*, **7**: 27-30.

Tesi R., 1989.- Illuminazione ed ombreggiamento nelle serre. *Colture Protette*, **7**: 37-44.

Willits D.H. y Peet M.M., 2000.- Intermittent application of water to an externally mounted, greenhouse shade cloth to modify cooling performance. *Transactions of the ASAE*, **43(5)**: 1247-1252.

[Volver](#)

[Ir a tema siguiente](#)