

REFRIGERACIÓN DE INVERNADEROS

RAMIRO GIL ORTEGA

Unidad de Horticultura
Servicio de Investigación Agraria
Diputación General de Aragón
Zaragoza

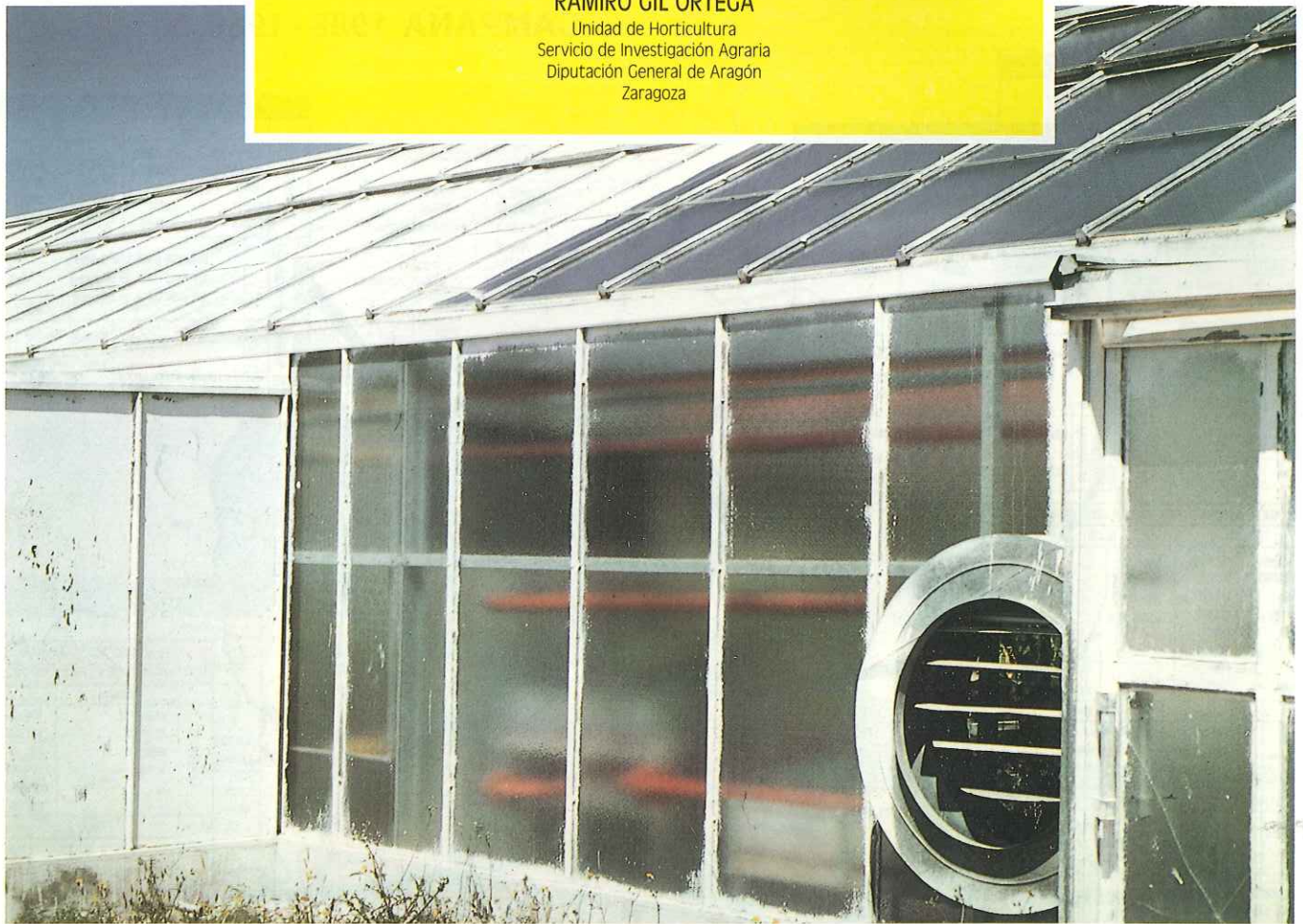


Figura 4. El blanqueo exterior de invernaderos es imprescindible para mejorar el rendimiento del sistema de refrigeración evaporativa.

En los últimos años se viene desarrollando en Aragón, particularmente en los alrededores de Zaragoza, el cultivo de hortalizas en invernadero. Se trata de invernaderos de estructura y cubierta sencilla, es decir, sin ventanas, sin calefacción, etc.

El desarrollo de este tipo de cultivo se ha producido sobre y gracias a una especie autóctona como es la borraja. Ésta suele ocupar el invernadero los meses fríos del año, por lo que los agricultores pronto se plantearon el uso del invernadero en las épocas cálidas, con especies térmicamente más exigentes, como el tomate, pimiento, pepino, calabacín, etc., o incluso plantas ornamentales. Sin embargo, en la mayoría de las localidades, con la excepción de las que se encuentran en zonas de altitud elevada, la experiencia demuestra que en época estival se producen períodos de calor adversos para dichos cultivos. Las temperaturas dentro del invernadero, aun con ventilación, resultan con frecuencia 8 a 12° más altas que en el exterior. Los efectos de las temperaturas elevadas sobre los cultivos son variados: diversos desarreglos vegetativos, debilitamiento y reducción del tamaño de planta, aborto de yemas y flores, etc.

Sin embargo, en la ampliación del período de uso del invernadero, la refrigeración, y por tanto el uso del invernadero en la época cálida del año, es mucho más barata que la calefacción del mismo.

Ésta es la razón por la que en este trabajo pretendemos dar unas ideas generales sobre cómo refrigerar el invernadero de forma barata. Nos referimos al denominado «evaporative cooling system» (sistema de refrigeración evaporativa).

En dicho sistema, la refrigeración se basa en la absorción de calor por el agua cuando ésta se evapora. A lo largo de una de las paredes del invernadero se hace pasar agua a través de una manta que debe tener una alta capacidad para absorber agua. Dichas mantas, primeramente se diseñaron a base de virutas de madera, pero ahora existen otras hechas de materiales sintéticos (Figura 1) o de algo parecido a cartón (celulosa) ondulado y tratado especialmente para este uso (Figura 2). En la pared opuesta se colocan ventiladores que extraen aire del invernadero (Figura 3). De esta forma el aire del exterior entra a través de la manta húmeda en el invernadero. El agua de la manta, mediante su evaporación parcial, absorbe calor de, entre otros, el aire que pasa a su través. De esta forma, el aire que entra en el invernadero puede ser refrigerado de 5 a 12 °C respecto a la temperatura exterior, siempre que la humedad relativa (HR) exterior sea baja. Esto es corriente en nuestra zona en los meses más cálidos, siendo también un inconveniente para el correcto desarrollo de los cultivos de invernadero. Por ello, con este sistema de refrigeración, no sólo tendríamos un alto rendimiento en la refrigeración, sino que aumentaríamos la humedad ambiente dentro del invernadero a niveles más adecuados para las plantas. A título de ejemplo, en el Cuadro 1 podemos ver los incrementos de HR que se producen dentro de invernaderos dotados con sistema de refrigeración, respecto a la HR exterior en el área de Zaragoza.

CUADRO 1

Humedades relativas (HR) mínimas medias de los meses de julio y agosto fuera y dentro de invernaderos dotados de sistema de refrigeración evaporativa, en el área de Zaragoza

Año	HR % mínima media de julio y agosto	
	exterior	interior
1986	37	61
1987	35	53

Dos cuestiones principales hay que resolver en una instalación de refrigeración como la que venimos analizando: cuánto aire hay que mover (dimensionar los ventiladores) y qué superficie de manta hay que colocar.

CAUDAL DE AIRE A MOVER

En las condiciones de altitud como las del área de Zaragoza, con una iluminación en torno a los 55.000 lux⁽¹⁾, para una máxima diferencia de temperatura de 4 °C entre la pared de la manta y la del ventilador, se deben mover por m² de invernadero, de acuerdo con la National Greenhouse Manufacturers' Association (EEUU), los m³/hora que se señalan en el Cuadro 2, según las distan-

cias entre las paredes donde estén situadas la manta y los ventiladores. Cuando dicha distancia es mayor de 60 metros, este tipo de instalación no es recomendable.

CUADRO 2

Caudal de aire (m³/hora) por m² de invernadero de acuerdo con diferentes distancias entre la manta y el ventilador

Distancia (m) de la manta al ventilador	6	12	18	24	30 a 60
Aire a mover m ³ /hora por m ² de invernadero	325	230	190	165	145

Ejemplo: Si tenemos un invernadero de 16,7 m de largo × 12 m de ancho, es decir de 200 m², y la distancia entre las paredes donde deben ir situados la manta y los ventiladores es la de 12 m, éstos deben mover:

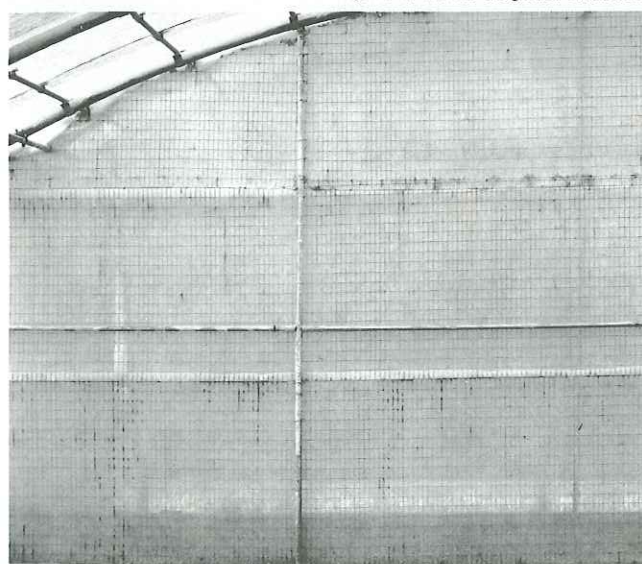
$$230 \times 200 = 46.000 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

TAMAÑO Y NÚMERO DE EXTRACTORES

Una vez conocido el caudal de aire a mover hay que seleccionar el tamaño y número de extractores a colocar.

De acuerdo con los datos de Acme Engineering and Manufacturing Company, el conjunto de extractores a colocar deberán al menos igualar el caudal de aire a mover, calculándolo para una presión estática de 2,5 milímetros de columna de agua. Esta presión estática tiene en cuenta la resistencia que los extractores van a encontrar en mover el aire a través de la manta⁽²⁾ y en tener que expulsar el aire eventualmente contra un viento en contra. En la práctica, si el extractor trabaja en descarga libre, es decir, que nada le ofrece resistencia a expulsar el aire, aquella presión estática no es necesario tenerla en cuenta.

Figura 1. Manta de guata sintética.



Por lo tanto, en el ejemplo anterior, los 46.000 m³/hora seguirían siendo el caudal global a mover por los extractores. Teniendo en cuenta que es recomendable no situar los extractores separados más de 7,5 m y midiendo la pared donde se sitúan los mismos 16,7 m, serían necesarios dos extractores, cada uno de los cuales debería mover un caudal de 46.000 m³/hora : 2 = 23.000 m³/hora como mínimo. Sería ya cuestión de buscar en los catálogos comerciales los extractores que mejor se adaptasen a esas exigencias.

EMPLAZAMIENTO DE LOS EXTRACTORES

Siempre que sea posible, los extractores deberán colocarse para que trabajen a favor del viento dominante. En caso contrario, su potencia deberá incrementarse al menos en un 10%.

Los extractores de un invernadero no soplarán sobre la manta de otro, a no ser que haya una distancia mínima de 15 m.

También se evitará que soplen unos extractores contra otros o contra obstáculos que impidan la salida libre del aire. En estos casos, las caídas de rendimiento de los extractores son muy fuertes.

Finalmente, el extractor deberá colocarse a la altura de las plantas para conseguir que el aire circule entre ellas.

Figura 3. Detalle exterior de extractores en funcionamiento. Deben trabajar a favor de viento y sin que haya obstáculo a la salida del aire.

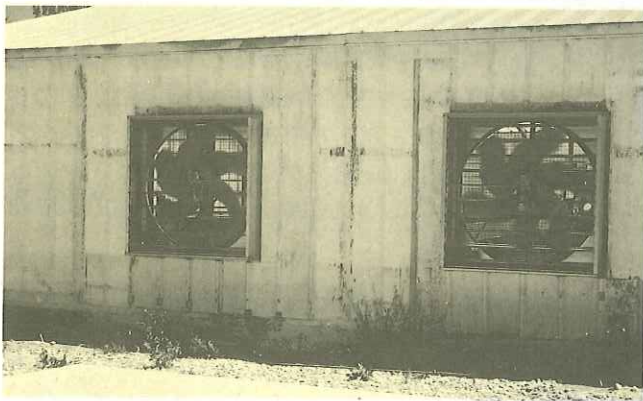
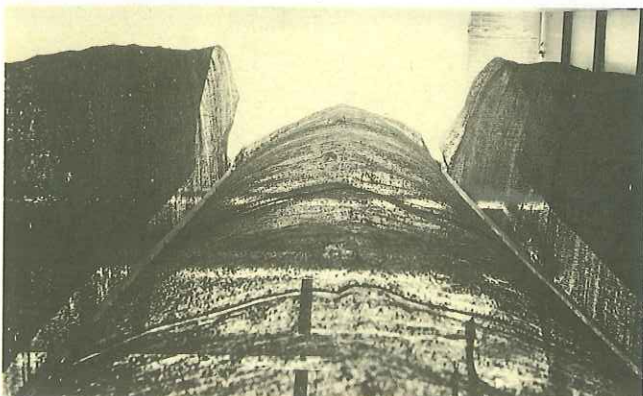


Figura 5. El sombreado interior no mejora sensiblemente el rendimiento del sistema de refrigeración evaporativa.



SUPERFICIE DE LA MANTA

En el caso de mantas a base de viruta de madera, que ya casi no se utiliza, o de materiales sintéticos de poco espesor (1 cm), se acepta que es necesario 1 m² de manta por cada 2.740 m³/hora a mover. En el ejemplo que venimos considerando harían falta:

$$46.000 \text{ m}^3/\text{hora} : 2.740 \text{ m}^3/\text{hora} = 16,8 \text{ m}^2 \text{ de manta.}$$

De acuerdo con ello, si en el mismo ejemplo cubrimos con la manta la cara opuesta a la que están colocados los extractores, que ya dijimos tenía 16,7 m de largo, la manta debería tener una altura de 1 m.

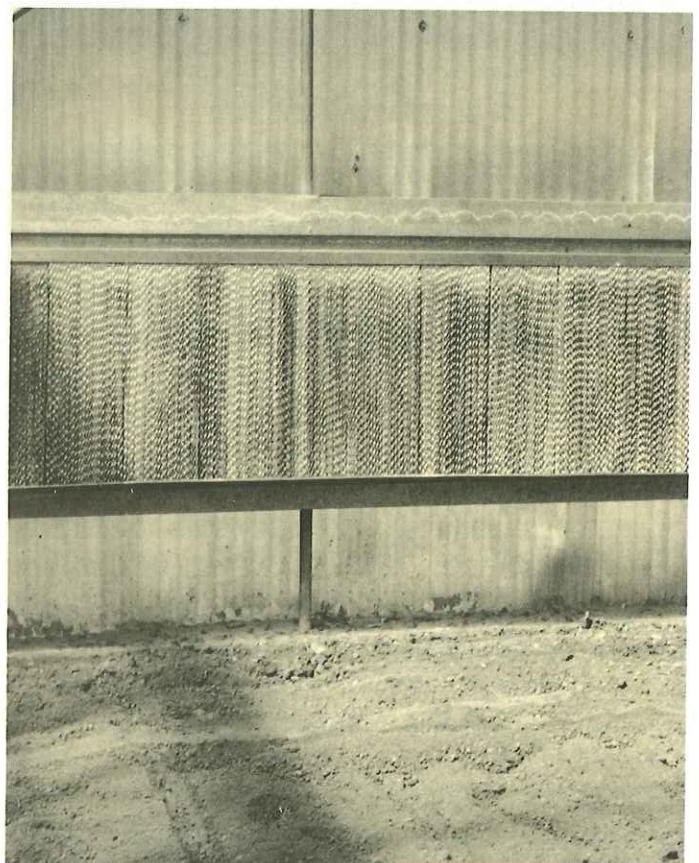
Últimamente se vienen utilizando cada vez más las mantas de celulosa tratada. De ellas se espera que tengan una duración de 10 años, contra 1 campaña de duración de las anteriores, por lo que aunque son inicialmente más caras, a la larga resultan más económicas. La más corriente suele tener un espesor de 10 cm, aceptándose que la superficie necesaria de ella es un 60 por 100 de la requerida por la anterior manta para hacer el mismo trabajo.

En el invernadero del ejemplo que venimos considerando harían falta:

$$16,8 \times 0,6 = 10,1 \text{ m}^2 \text{ de manta de celulosa tratada de 10 cm de espesor,}$$

lo que implicaría para mantas de 1 m de altura, 10,1 metros lineales.

Figura 2. Panel de celulosa tratada.



CAUDAL DE AGUA

El caudal de agua necesario para humidificar la manta convenientemente se estima en 4,0 l/min y m lineal de manta sintética, 7,5 l/min y m lineal de manta de celulosa tratada, independientemente de la altura de ésta. El agua puede aportarse, bien mediante tubería agujereada colocada en la parte superior de la manta, bien mediante aspersión del agua contra la misma (Figura 6). El agua sobrante es recogida en un canalón especial que colocado debajo de la manta (Figura 6) la conduce hasta un depósito desde donde vuelve a ser bombeada (Figura 7). El depósito debe tener una capacidad de 20 litros por cada m lineal de manta. Frecuentemente hay que rellenar el depósito de agua para compensar las pérdidas de la misma, por lo que debe tener un aporte directo de agua que se regula mediante válvula accionada por flotador.

En el ejemplo que venimos considerando, sería necesario aportar agua en las siguientes cantidades:

$$4,0 \times 16,8 = 33,6 \text{ l/min (manta sintética)}$$

$$7,5 \times 10,1 = 75,8 \text{ l/min (celulosa tratada)}$$

mientras que el depósito regulador debería tener una capacidad mínima de:

$$20 \times 16,8 = 336 \text{ l en el primer caso y}$$

$$20 \times 10,1 = 202 \text{ l en el segundo caso.}$$

Finalmente hay que tener en cuenta que a medida que el agua se evapora de la superficie de la manta, las sales disueltas en ella se concentran y tienden a depositarse en la manta. Esto no es grave en las mantas sintéticas que se cambian anualmente, pero sí en las que han de durar 10 años. Para evitarlo es necesario drenar el sistema con cantidades de agua que, dependiendo del contenido inicial de sales en el agua, oscilará entre 0,6 y 6 l/min por cada 10 m lineales de manta.

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

Un termostato debe ser instalado en el interior del invernadero de tal forma que cuando la temperatura suba por encima de la prefijada, ponga en marcha todo el sistema: extractores, bomba del agua, etc.

- (1) En verano para conseguir un adecuado funcionamiento del sistema de refrigeración evaporativa, es conveniente, mediante blanqueo o sombreado, reducir la intensidad luminosa a estos niveles, que son los considerados aceptables para el cultivo en general. Con el blanqueo exterior (Figura 4), frente al blanqueo o sombreado interior (Figura 5), se consigue reducir el efecto invernadero y favorecer la refrigeración perseguida.
- (2) A este respecto es importante que el invernadero sea lo más estanco posible. En otro caso, una vez el extractor en funcionamiento, el aire entrará en el invernadero por cualquier orificio que le ofrezca menos resistencia que la manta.

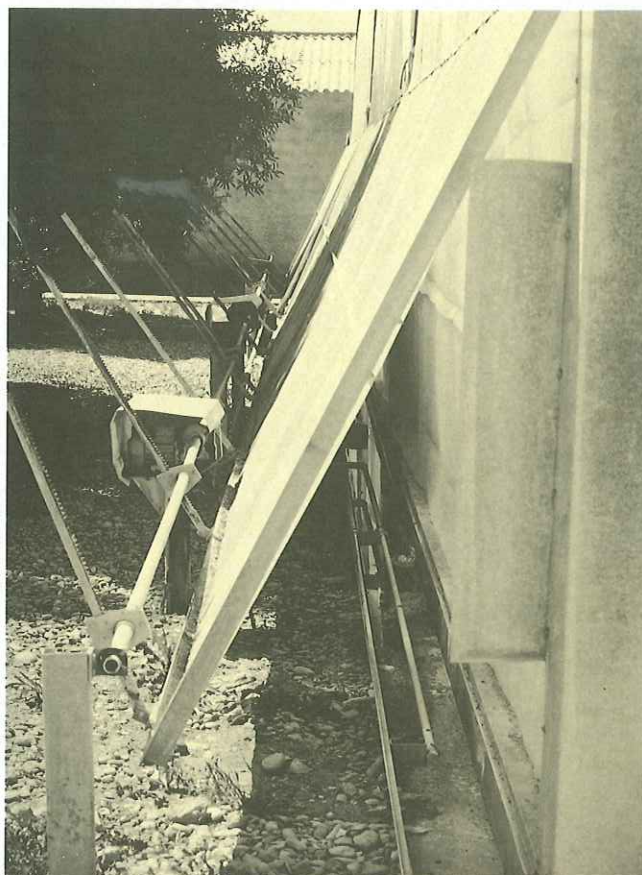


Figura 6. Manta de guata sintética. En la parte baja puede verse una tubería conteniendo los aspersores que pulverizan el agua sobre la manta al entrar en funcionamiento. También puede observarse en la parte inferior un canalón que recupera la mayor parte de agua sobrante. La apertura de la ventana puede motorizarse, con en la figura, o hacerse manualmente.

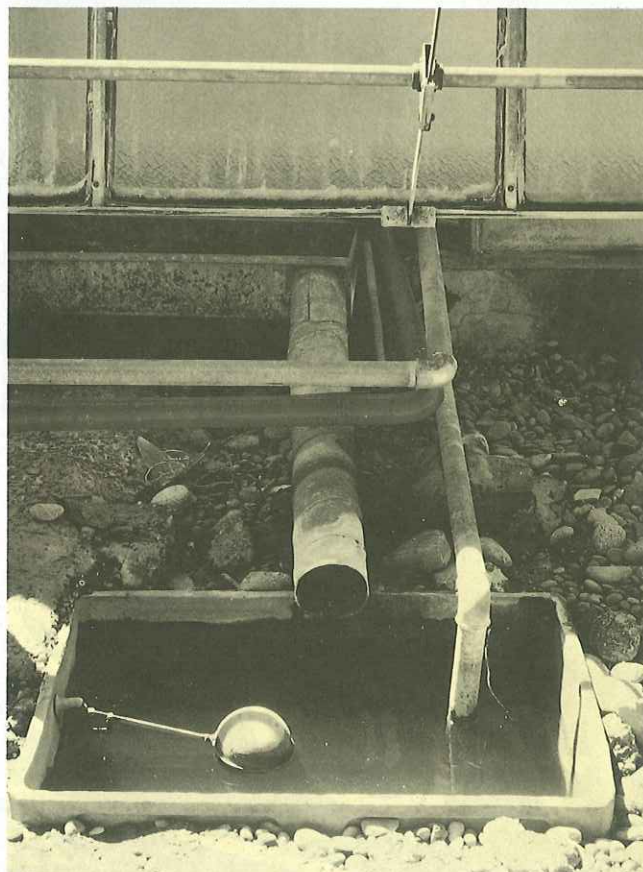


Figura 7. Depósito regulador del agua del sistema de refrigeración evaporativa. El flotador regula una válvula que permite compensar el gasto de agua del sistema.