

# CONTROL CLIMATICO EN INVERNADEROS

## 1. SITUACION ACTUAL DEL INVERNADERO DE LA ZONA MEDITERRANEA

En estos momentos la tendencia de los mercados es a producir calidad. La necesidad de los agricultores está en ofrecer esa calidad pero elevando la producción. Estas dos exigencias suponen tener mejores instalaciones donde casi todo se pueda controlar y dedicarse más a la producción con las técnicas culturales adecuadas. Hasta este momento, la producción con una calidad intermedia en la que cabía todo, hacía que los empresarios agrícolas invirtieran fundamentalmente en superficie, pero sin tener en cuenta ni mejorar las instalaciones. Ahora la tendencia ha cambiado, se intentan mejorar las instalaciones y presentar productos de calidad a través de grupos comercializadores muy profesionalizados.

La falta de mejora de las estructuras, junto con la ausencia de equipos de control climático en la mayoría de nuestros invernaderos provoca valores extremos indeseables tanto de temperatura, como de humedad dentro de nuestras instalaciones. Los problemas más usuales en los invernaderos mediterráneos son:

1. Exceso de temperaturas en verano.
2. Mínimas bajas en las noches de invierno.
3. Exceso de humedad ambiente en invierno.
4. Falta de humedad ambiente en verano e incluso durante el invierno.
5. Niveles bajos de CO<sub>2</sub>
6. Falta de estanqueidad del invernadero.
7. Etc....

A continuación veremos diversas soluciones que se están adaptando, en mayor o menor medida, en los invernaderos de la zona mediterránea.

## 2. MEJORAS APLICABLES A DICHA PROBLEMÁTICA

Los sistemas empleados no actúan directamente sobre un aspecto, sino sobre más de una variable en mayor o menor medida.

### 2.1. HUMIDIFICACIÓN

Quizá sea éste el tema más complicado de todos a los que nos vamos a referir. Los sistemas más eficaces normalmente utilizados para humedecer el ambiente (subir la humedad relativa interior) son:

- ◆ Humidificación con paneles evaporativos (cooling system)
- ◆ Nebulización de alta presión > 40 Kg./cm<sup>2</sup> (Fog system)
- ◆ Nebulización de baja presión de 4 a 6 Kg./cm<sup>2</sup>
- ◆ Otros sistemas.

El *cooling system* consiste en colocar 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 helicoidales eléctricos.

El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe la humedad y baja la temperatura interior del invernadero. Posteriormente, es expulsado por los ventiladores.

Es bastante eficaz para pequeñas superficies (rendimientos de hasta un 85%), se emplea sobre todo para bajar temperatura. En nuestros invernaderos el aire se seca rápidamente, no se aconsejan más de 30 m de recorrido, en invernaderos largos se pueden instalar los ventiladores sobre el techo y las pantallas en ambos extremos. Siempre que sea posible se deben situar las pantallas a barlovento. La eficiencia de este sistema dependerá en gran medida de la estanqueidad del invernadero, para que el aire forzado por los ventiladores penetre a través de la pantalla.

Por otro lado las plantas son una barrera por la que el aire circula con dificultad, por todo ello el efecto no es muy uniforme. Es un sistema caro y requiere de un alto mantenimiento.

El *fog system* consiste en la colocación de boquillas conectadas a tuberías timbradas para soportar presiones de trabajo en torno a los 60-70 Kg./cm<sup>2</sup> (la presión mínima necesaria es de 40 Kg./cm<sup>2</sup>). El diseño de la boquilla es tal que el chorro de agua choca con un obstáculo a su salida y se dispersa, formando un cono de gotas pequeñas, de las que el 95% son menores de 20 micras de diámetro. Generalmente se instala una boquilla por cada 8 a 10 m<sup>2</sup> de invernadero. El caudal de agua evaporada por boquilla es de unos 5 litros por hora, siendo función de la presión de trabajo (60-70 Kg./cm<sup>2</sup>).

El agua debe ser de una cierta calidad para evitar la obturación de dichas boquillas. Si el agua proviene de una alberca o pozo superficial es preciso añadir cloro a 0,5 ppm para controlar el desarrollo de algas y bacterias. Un problema de nuestras aguas es la gran cantidad de cal del agua, lo que obstruye las boquillas. Sería necesario un sistema de descalcificación o eliminación de sales, lo cual, para la cantidad de agua de que se está hablando es caro.

Actualmente es el mejor sistema para aumentar la humedad dentro del invernadero y disminuir los excesos de temperatura. Con la ventaja de que al ser tan fina la gota se evapora antes de mojar la planta, con los correspondientes problemas que esto supone.

El otro sistema es la *nebulización a baja presión*, utilizan agua a presión comprendida entre los 4 y 6 Kg./cm<sup>2</sup>. Se colocan boquillas entre 8 a 12 m<sup>2</sup>, y su caudal es de aproximadamente 7 litros por hora. La falta de calidad del agua no es un problema tan grande como en el anterior sistema.

En la actualidad se están utilizando distintos tipos de micro aspersores o pulverizadores con tamaños de gota que llegan a mojar la planta pero los resultados, dependiendo del tipo de cultivo pueden ser buenos para épocas calurosas por la rápida evaporación y el efecto de descenso de temperatura; en el caso de semilleros y plantas ornamentales el mal recubrimiento y las manchas que producen las gotas pueden ser perjudiciales.

Otro sistema consiste en el uso de boquillas que trabajan con una presión de agua comprendida entre los 3 y 6 Kg./cm<sup>2</sup>. Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a presión.

Las mejores son las ultrasónicas. Se dirige la corriente de aire comprimido contra un resonador de forma hueca y redondeada situado enfrente de la salida del agua. Por tanto, el agua pasa a través de un campo de ondas y se dispersa en forma de gotas de tamaño igual o menor a 10 micras.

La nebulización ultrasónica es extremadamente fina y seca, pero el precio de las boquillas es casi prohibitivo. Otras boquillas más económicas y también de una calidad muy aceptable mezclan aire a 6-8 Kg./cm<sup>2</sup> con agua a 3-5 Kg./cm<sup>2</sup>. La mezcla se produce en el interior del cuerpo de la boquilla. Este sistema tiene algunas ventajas:

1. Puesto que trabajan a presión de agua baja, el precio de la instalación es menor. Esta ventaja se compensa con la necesidad de montar un compresor de aire.
2. El orificio de salida del agua es grande y no se bloquea con facilidad.
3. La corriente de aire ayuda a limpiar la boquilla e impide el goteo cuando se corta el agua.

Para que el equipo funcione correctamente es necesario el uso de válvulas de control. Se precisa válvulas solenoidales para el suministro de aire y válvulas de muelle que admitan agua cuando la presión del aire sea superior a dos atmósferas. Sin estas válvulas al arrancar sale un chorro directo de agua hasta que la presión de aire sube lo suficiente para nebulizar.

## 2.2 REFRIGERACIÓN

Es otro de los grandes problemas de cara a la producción. Hay que pensar que el exceso de temperatura provoca en la planta momentos de estrés y de parada en su metabolismo. De otra parte son conocidas las pérdidas en el cuajado de frutos en estas épocas. La temperatura está relacionada con la humedad. Al humidificar la temperatura baja, y al calentar el ambiente por acción del sol o artificialmente, la humedad en el ambiente disminuye. Nuestro sistema tradicional de bajar la temperatura es ventilar y por otro lado el blanqueo. Hoy en día también se usan las pantallas de sombreo.

### Reducción de temperaturas máximas mediante ventilación:

En épocas de alta insolación la reducción de temperatura del aire normalmente se lleva a cabo mediante la gestión de la ventilación, la reducción de la radiación (con sombreo o encalados) y evaporando agua a través del cultivo (evapotranspiración) o directamente (nebulización). Los sistemas de ventilación más usuales son de tipo pasivo mediante ventanas cenitales y laterales.

En general, los invernaderos están mal ventilados. Se estima que la ventilación mínima debe ser entre el 15% y un 25 %. A pesar de esto, más que una cantidad de espacios abiertos es importante la forma de ventilar.

Las tasas de ventilación deberían tender a alcanzar entre 0,75 y 1 renovaciones, del volumen del aire del invernadero, por minuto. Una superficie de ventilación del 15% respecto a la superficie cultivada (mediante ventanas laterales y cenitales) y una adecuada estrategia de manejo, puede llegar a ser suficiente para la gestión de ciertos cultivos como el tomate y la judía. Aunque el óptimo de superficie de ventilación se cifra en torno al 30%. La eficiencia de esta ventilación está, en general, muy limitada debido a que los problemas fitosanitarios fuerzan a los agricultores a la instalación de densas mallas anti-insectos que dificultan el paso del aire.

Otros aspectos a considerar son la distancia existente entre las ventanas laterales, las cenitales y la altura del cultivo, ya que ambos factores van a limitar la ventilación, sobre todo cuando la velocidad del viento es baja, la forma y orientación de las ventanas (en función de los vientos dominantes), etc. En cualquier caso, el tema de la ventilación es muy complejo y es necesario profundizar en su estudio en los invernaderos mediterráneos.

Los tipos de ventilaciones utilizados han ido desde apertura manual de bandas, aperturas de juntas de invernaderos planos y después en los "raspa", ensayos fracasados de pequeñas ventanas manuales en el techo (eran insuficientes y se rompían con el viento), ventilaciones enrollables también muy utilizadas en invernaderos asimétricos y laterales (la ventaja era la mecanización pero siguen sin ventilar bien el techo). En la actualidad se están instalando ventanas corridas abatibles con sistema de tubo-cremallera y bandas enrollables pero abriendo desde arriba. Por supuesto los sistemas de cremallera y apertura de medio arco en invernaderos multitúnel son igualmente eficaces y, en el caso de los laterales, las ventanas de guillotina.

Otro tipo de solución es la de instalación de ventiladores helicoidales de gran caudal (*ventilación forzada*). Este sistema puede servir de apoyo para ayudar a evacuar zonas de acumulación de calor, como ocurre en las partes altas de los invernaderos con pendiente, también para resecar el ambiente cuando la humedad interior del invernadero es alta, introduciendo aire del exterior más seco, y evitando que se produzcan condensaciones de agua en los frutos lo que provoca rajado (pimiento). Pero para sustituir la ventilación habitual se requiere de un gran número de ellos, y una buena distribución que nos asegure un flujo continuo de aire por todo el invernadero. La colocación de estos aparatos está limitada por el alcance del flujo de aire que suele ser de unos 30 m. Este sistema se puede completarse con la colocación de nebulizadores en la parrilla frontal del aparato.

### Reducción de temperaturas máximas por disminución de la radiación:

El blanqueo para disminuir la radiación incidente (como medio de reducir la temperatura del aire) es una práctica casi generalizada en primavera y verano, siendo la utilización de mallas de sombreo apenas testimonial, dada la complejidad de la instalación de estos materiales en la cara exterior del invernadero (situación ideal). Para su colocación en el interior del invernadero, debe ir automatizada para que pueda ser manejada por un controlador climático, para poder cerrarla o abrirla en función de la humedad relativa interior.

Un problema del encalado y de la pantalla de sombreo es que reducen la radiación solar, lo que implica una notable reducción en la producción, sobre todo en aquellas estructuras que se blanquean demasiado pronto, al inicio de la primavera.

Estos hechos, junto con la escasa reducción térmica que inducen, deberían limitar el uso de esta técnica a aquellos casos estrictamente necesarios (motivados por un problema de calidad de producto, como por ejemplo pueden ser los casos de daños de fruto por exceso de radiación en pimiento y tomate, conocidos como golpes de sol), dedicando mayor atención a mejorar la ventilación.

El tema de la luminosidad muy es importante tenerlo en cuenta, a pesar de estar en una zona de alta insolación, en invierno la luz puede ser escasa. Por eso es imprescindible que las cubiertas transmitan la mayor cantidad de radiación posible manteniéndolas limpias utilizando plásticos que no acumulen polvo, evitando filmes de menos transmisión como son los coloreados.

La forma del invernadero y la orientación también son importantes. Es un tema muy discutido al que se le está dedicando mucho tiempo y estudio. Si sabemos que los invernaderos planos recogen menos luz que otros con pendiente, en los de túnel la ganancia de luz es superior.

#### **Reducción de temperaturas máximas por evaporación de agua:**

La evaporación de agua para reducir temperaturas es una alternativa que empieza a imponerse cada vez con más fuerza. Prevalciendo los sistemas de nebulización (anteriormente descrita) que distribuyen en el aire un gran número de gotas de agua de muy pequeño tamaño cuya velocidad de caída, debido a su escaso peso, es muy lenta con lo que permanecen suspendidas en el aire el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar el cultivo.

Para un buen mantenimiento de la instalación es necesario contar con aguas de muy buena calidad o, en su defecto, instalar pequeñas unidades desalinizadoras. Una opción interesante sería recoger las aguas de lluvia para ser utilizadas en estas instalaciones.

### **2.3 CONTROL DE LAS TEMPERATURAS MINIMAS Y CALEFACCION**

#### **Control de las temperaturas mínimas sin gasto de energía:**

En invierno, las alternativas para aumentar las temperaturas mínimas de modo pasivo (sin gasto energético) son la utilización de *pantallas térmicas* y las *dobles cubiertas*.

Las pantallas térmicas más eficientes son las aluminizadas, pero aún son poco frecuentes dado su elevado precio y lo complicado de su instalación dentro de un invernadero artesanal. Para evitar reducciones indeseables de radiación durante el día deben ser móviles (para permitir su retirada y plegado durante el día) y su instalación en estructuras simples es complicada. Se colocan de norte a sur. Además pueden dificultar la ventilación y aumentar la higrómetros nocturna (si se carece de un sistema de calefacción). La ganancia térmica que suministran en invernaderos sin calefactar oscila entre los 2 y los 4 °C, y es función del grado de desarrollo del cultivo pero, en general, la mejora térmica no compensa la pérdida de luz cuando son fijas.

Lo ideal es la colocación de pantallas móviles de ahorro de energía y sombreado. Consisten en cintas de aluminio y cintas transparentes sintéticas. En un estado cerrado no dejan entrar calor de radiación o convección. De esta manera se ahorra mucha energía. Al mismo tiempo las pantallas reflejan una parte de los rayos del sol. Así el cultivo está protegido contra una radiación intensa y una temperatura elevada. El resultado de todo esto es un crecimiento uniforme y un clima mejor de trabajo.

Estas pantallas tienen una estructura muy flexible y se pueden doblar muy fácilmente. Esto da como resultado un paquete mínimo y una entrada máxima de luz en posición abierta. Gracias a su estructura entrelazada de las cintas finas, en combinación con los hilos especiales de poliéster, las pantallas dejan entrar suficiente vapor de agua. Así la estructura no permite que la humedad suba mucho y que el proceso de condensación se presente bajo la pantalla.

Este tipo de pantallas se suelen colocar en invernaderos que están dotados de un sistema de calefacción, por su ventaja de cara al ahorro energético, ya que en función de la estanqueidad del invernadero podemos llegar a un ahorro energético de un 30-50% (Según fabricantes).

Por otro lado la instalación de las dobles cubiertas consiste en la colocación interior de otra película plástica

de 50-100 $\mu$ , separada de la cubierta principal solamente unos centímetros (entre 2 y 10 cm.). La separación entre ambas láminas se hace con aire a presión, además de asegurar la ganancia térmica y reducir las condensaciones, da al invernadero una resistencia estructural mayor. El ahorro energético que proporcionan las cubiertas inflables en invernaderos calefactados se estima en un 30 %, pero hay que tener en cuenta que reducen la transmisividad en torno a un 10 % ya que no pueden ser retirados durante el día.

#### **Control de las temperaturas mínimas mediante la calefacción:**

La utilización de calefacción en nuestras estructuras y con la mayoría de productos hortícolas y ciclos usuales es cuestionable y tiene que depender obligatoriamente de criterios económicos.

Los sistemas de calefacción más utilizados son:

1. los generadores de aire caliente (más baratos)
2. los sistemas de calefacción por conducción de agua a baja temperatura (40 – 45 °C) en tuberías de polietileno o polipropileno coarrugado
3. los sistemas de calefacción por conducción de agua a temperaturas entorno a 80-90 °C por tubo de acero

Los *generadores de aire caliente*, es el sistema más utilizado, tiene una eficiencia térmica alta (mayor en los de combustión directa). El aire es calentado en una cámara por un quemador e impulsado por un ventilador helicoidal. Se necesitan varios aparatos para conseguir homogeneidad, ya que su alcance máximo depende del ventilador helicoidal que llevan incorporado (aproximadamente 30 m).

La velocidad de calentamiento del aire es rápida pero también se enfría rápido. Una de las ventajas es la sencillez de montaje, existiendo incluso equipos portátiles. Este sistema se recomienda para evitar bajadas puntuales de temperatura, pero no para mantener valores constantes de cara a la producción ya que en tal caso el consumo se dispara por el efecto del enfriamiento de la masa de aire en movimiento y en contacto con la cubierta. La gran ventaja es el precio frente al sistema de agua, que puede llegar a ser hasta 4 veces superior.

Los hay de dos tipos de combustión directa y de combustión indirecta (más limpios que los anteriores ya que los gases de escape van directos al exterior por medio de una chimenea).

El otro tipo de calefacción utiliza una caldera para calentar el agua que circula por tuberías regularmente dispuestas por el invernadero, radiando energía a todo el cultivo. Aquí el calor va directamente a los cuerpos sólidos, hojas, frutos, suelo, estructura, etc., y en menor medida al aire circundante. Es un sistema de respuesta más lenta pero que mantiene la temperatura constante y en el que se aprovecha el alto calor específico de un fluido con poca viscosidad como es el agua. La inversión es alta. Las pérdidas en invernaderos de plástico son altas, lo ideal sería invernaderos de cristal.

Mediante la calefacción se puede controlar no solo la temperatura, sino también el exceso de humedad, aunque hasta el momento no es una práctica muy usual debido al coste energético que ello supone.

La calefacción con agua a 30-40 °C, que circula en las tuberías de polipropileno coarrugado situadas directamente sobre el suelo, prevalece frente a otros sistemas de conducción de mayor coste (tubería de acero o aluminio). Los costes de instalación de los

sistemas de conducción son superiores a los de generación de aire caliente y, a pesar de que su consumo energético es menor, solamente pueden aconsejarse para cultivos que requieran apoyo térmico continuo, o en aquellos casos en los que se pretenda calentar el sustrato en cultivos sin suelo. La elección de uno u otro sistema ha de obedecer a criterios de rentabilidad ya que el ahorro de combustible del sistema de agua (con respecto al sistema de aire) debe compensar el amortizar una mayor inversión inicial. Sea cual sea el sistema de calefacción a utilizar, y dado el alto coste de inversión y los consumos energéticos, habría que minimizar las fugas térmicas del invernadero, optando por invernaderos sin agujeros en el material de cubierta, la colocación de pantallas de ahorro energético. Los invernaderos multitunel anclan el material plástico mediante tensión, con los que no son necesarios los inevitables punteos de alambre de los invernaderos de parral, siendo por tanto más estancos.

#### Control de la humedad ambiental:

En nuestras estructuras, sin control climático activo, las oscilaciones higrométricas son grandes, pudiendo alcanzar condiciones de saturación durante la noche (que provocan condensaciones generalizadas de vapor de agua) y valores muy bajos durante el día. Excesos de humedad favorecen el desarrollo de enfermedades mientras que humedades muy bajas y prolongadas pueden conducir a situaciones de estrés en el cultivo. Una buena gestión de la ventilación puede ser suficiente para conseguir una humedad aceptable. Sin embargo, ya hemos comentado la limitación que en la actualidad tienen nuestros invernaderos en ventilación. En invernaderos con sistemas de calefacción suele utilizarse esta para reducir la humedad, calentando y ventilando.

Si para aumentar la humedad ambiental no basta con mantener bien regado el cultivo (bien desarrollado y transpirando activamente) puede aplicarse mediante nebulización o micro aspersión, como ocurre cuando el cultivo está recién plantado.

## 2.4. FERTILIZACIÓN CARBONICA

#### Control de la composición del aire dentro del invernadero. Fertilización carbónica:

Es bien conocida, en áreas norte europeas, la respuesta de la mayoría de los cultivos hortícola al enriquecimiento carbónico, y en invernaderos tipo parral se han cuantificado repuestas productivas de incrementos de cosecha en torno al 15-25% en algunos cultivos.

Sin embargo la decisión sobre su uso en nuestras estructuras debe llevar consigo un detallado análisis económico así como de gestión de la aplicación, dada la gran variabilidad de costes que existe entre los distintos sistemas de aporte. No parece lógico mantener altas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dada la necesidad de ventilación de nuestras estructuras, sino que lo deseable sería mantener los niveles de aire exterior (340-350 ppm) como mínimo, ya que en condiciones de alta actividad fotosintética y ausencia de movimiento de aire se producen bruscos descensos en dicha concentración.

Homogeneizar el aire interior del invernadero mediante ventiladores, provocar una buena renovación del aire interior y aplicar intermitentemente CO<sub>2</sub> (cuando las ventanas están cerradas) es una alternativa cuya rentabilidad es interesante estudiar en un caso concreto. Se ha sugerido mantener las concentraciones al mismo nivel que las del aire exterior con las ventanas abiertas y una ventilación eficiente y cuando estas estén cerradas

durante el día trabajar a concentraciones de 600-700 ppm.

En la actualidad, por su baja utilización, los costes suelen ser muy superiores a los que se pagan en países europeos. El enriquecimiento carbónico con los gases de combustión de la calefacción, que se realiza en centro y norte de Europa exige gases sin residuos (óxido nítrico, etc.) y no parece de interés por la falta de coincidencia que existe entre los momentos de necesidad del aporte calorífico (noche y primeras horas de la mañana) y la demanda de dióxido de carbono (requerido durante las horas de luz). Esta forma de aplicación es más económica aunque su utilización debe suponer el almacenamiento del gas debido a la falta de sincronía.

#### 2.4. LOS INVERNADEROS DEL SIGLO XXI

La tendencia en las estructuras de invernadero ha sido en la última década la de mejorar los rendimientos, con unas inversiones muy importantes. El no estancamiento en los modelos existentes indica que los resultados son buenos, necesarios y que posiblemente esta situación de inversión para tecnificar las estructuras continúe.

Actualmente estamos inmersos en un proceso de mecanización. Se trata de realizar de forma cómoda y con la menor mano de obra posible las labores habituales, laterales y ventilaciones de la cubierta, riego (quizás sea en lo que más se ha avanzado), recogida y transporte de géneros. Desde el punto de vista del manejo esta comodidad nos llevará también un mayor control de todos los parámetros y a la progresiva automatización del sistema: apertura y cierre en función de condiciones internas y externas del clima, riegos programados (riegos inteligentes) pantallas térmicas automatizadas, etc. Como se ve esto implica una inversión en equipos; los equipos han de dirigirse a mejorar los aspectos de clima que hemos señalado: calefacción, humidificación, sombreado, fumigación, etc.

Estos sistemas se integrarán y centralizarán en programas que coordinen los distintos parámetros, capaces de variar su respuesta en función de los acontecimientos (un potente controlador climático). Las estructuras serán más duraderas y se optará por la instalación de placas plásticas semi-rígidas, cristal. Los mercados y la Unión Europea impondrán condiciones de producción más estrictas donde será importante la limpieza y el reciclado de todos y cada uno de los desechos resultantes del proceso productivo, limitar la entrada de plagas y el uso de productos químicos. Se tenderá en muchos casos a utilizar la hidroponía y a la reutilización de las soluciones nutritivas. También el aprovechamiento de las aguas de lluvia y a recoger de la misma forma los drenajes.

Para todo esto hay que estar preparados en la mayor medida de lo posible, y hoy en día la solución a toda esta problemática se la ofrece la empresa NOVEDADES AGRICOLAS, S.A. con su alta gama de productos que van desde un equipo de fertirrigación, plantas de osmosis inversa, potentes controladores climáticos, sistemas de calefacción, sistemas de nebulización, riego por goteo, etc.....

José Ignacio López García  
Ingeniero Técnico Agrícola  
Departamento de I + D (Área de clima y tratamiento de aguas)