

El control climático de los invernaderos comerciales se centra habitualmente en la regulación de los niveles de temperatura

El control de la condensación en invernaderos

A. PERALES¹, A. PERDIGONES¹, J. L. GARCÍA¹, J.I. MONTERO², A. ANTÓN²

¹Dpto. Ingeniería Rural, Univ. Politécnica de Madrid

²IRTA Cabrils



La humedad relativa en el invernadero

A parte del control de los niveles de temperatura, en los invernaderos comerciales, existen otros parámetros importantes, como la humedad, la radiación y la concentración de CO₂; en particular, los niveles de humedad relativa y las medidas contra la condensación son factores que no siempre se toman en cuenta en las estrategias de control del clima. Si revisamos

Aparte de la temperatura, en los invernaderos comerciales existen otros parámetros importantes, como la humedad y la condensación, factores que no siempre se toman en cuenta.

los diferentes parámetros que se utilizan en este tema, la humedad de saturación es la máxima masa de vapor de agua que cabe en la unidad de masa de aire. Este parámetro depende de la temperatura; el aire más caliente puede incorporar más vapor de agua. La humedad relativa es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que hay en el aire (humedad absoluta) y la cantidad de vapor de agua que

cabe en el aire (humedad de saturación). Si la humedad relativa alcanza el 100% significa que la humedad absoluta es igual que la humedad de saturación, con lo que se produce la saturación de la atmósfera y comienza la condensación.

Por poner dos ejemplos, a partir de aire a 20°C y 80% de humedad relativa, si la humedad absoluta aumenta (por ejemplo por transpiración de las plantas) au-

Gráfico 1:
Porcentaje de días con condensación en un invernadero en Madrid

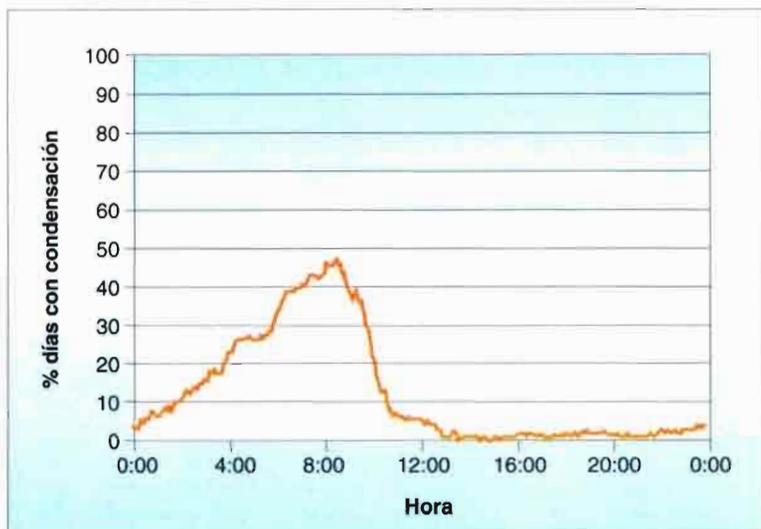
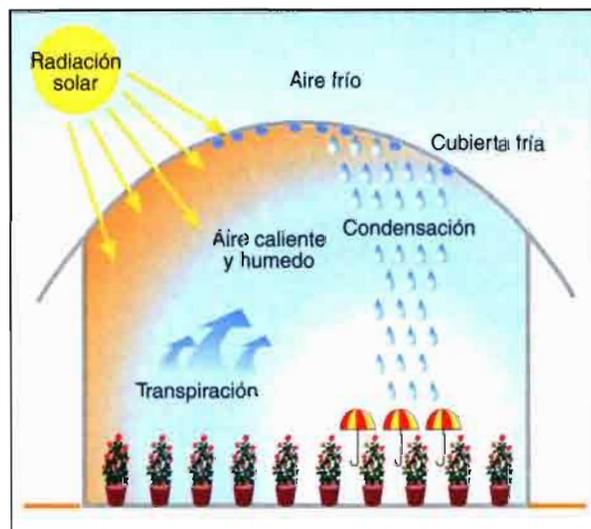


Figura 1:
Representación esquemática del fenómeno de la condensación



mentará la humedad relativa; si llega al 100% se producirá condensación.

Pero si desde la misma situación inicial baja la temperatura, también aumentará la humedad relativa, porque el aire más frío puede contener menos vapor de agua, y también puede producirse la condensación.

El rango óptimo de humedad relativa para los cultivos es entre el 55% y el 90%; el nivel de confort para las personas es distinto, entre el 30% y el 70%. Un exceso de humedad relativa favorecerá la aparición y difusión de enfermedades, mientras que las humedades bajas pueden causar el cierre estomático y complicar problemas de estrés por altas temperaturas.

Un fenómeno no deseado que se produce en los invernaderos debido a los problemas de temperatura y humedad es la condensación, tanto sobre el cultivo como sobre la cubierta.

La condensación en el techo provoca pérdidas de radiación, ya que se reduce la transmitancia de la cubierta, y goteo sobre el cultivo; este goteo y la condensación sobre las plantas facilitan la proliferación de enfermedades criptogámicas. Ver figura 1.

Momentos críticos

El fenómeno de la condensación se suele dar en las primeras horas frías del amanecer, aunque también se producen condensaciones durante la noche y a la caída de la tarde, cuando la temperatura desciende bruscamente y el invernadero está húmedo por la transpiración. Los meses problemáticos son desde noviembre hasta mayo; en ciertas zonas los períodos peores son abril y mayo, porque se combinan mayores niveles de radiación solar con mañanas frías. Al amanecer los rayos del sol inciden sobre la planta, haciendo que la transpiración se incremente, y aumentando la humedad absoluta del aire del invernadero. Sin embargo, la temperatura de la planta y de la cubierta aumentan más lentamente. Por ello, el vapor de agua del aire del invernadero se condensa en las partes más frías: en la cubierta y, en ocasiones, en el propio cultivo.

El rango óptimo de humedad relativa para los cultivos es entre el 55% y el 90%; el nivel de confort para las personas es distinto entre el 30% y el 70%

En los invernaderos se producen variaciones de temperatura en altura, y como la humedad absoluta se distribuye más o menos homogéneamente, también se producen variaciones de humedad relativa debidos al gradiente de temperatura. En los puntos donde la humedad relativa llega al 100% se produce la condensación, por esta razón, con calefacción por agua caliente hay más riesgo de condensación en el techo, porque es la zona más fría, mientras que con calefacción por aire caliente hay más riesgo de condensación en las plantas. El aire caliente, como veremos, es más eficaz en general que el agua caliente contra este problema. En los invernaderos sin calefacción hay riesgo de condensación tanto en el techo como en el cultivo.

En el gráfico 1, podemos ver el porcentaje de días con condensación en marzo, abril y mayo en las diferentes horas del día, en un invernadero en Madrid.

Experimentos en la ETSI Agrónomos de Madrid y en el IRTA de Cabrils

En los invernaderos de la ETSI Agrónomos de Madrid y del IRTA de Cabrils se han probado varias técnicas para reducir la

condensación, contando con calefacción. Se han comparado los resultados obtenidos con calefacción por agua caliente y por aire caliente. La principal conclusión que se ha obtenido es que la calefacción por aire caliente es mucho más eficaz que la de agua caliente para controlar la humedad relativa.

Según los resultados obtenidos, la apertura de la ventana cenital (25 cm, combinada con calefacción, siempre consiguió reducir el valor de humedad relativa, pero la reducción fue mayor con aire caliente que con agua caliente. La desventaja que supone la apertura de la ventana cenital es que, lógicamente, el consumo de energía en calefacción es mayor. Sin embargo, en nuestros ensayos la diferencia en el consumo de energía fue muy pequeña, con la mencionada apertura cenital de 25 cm. Como estrategia de control, valores de consigna razonables son la apertura de la ventana cenital con 90% de humedad relativa y el cierre con el 80%. La humedad exterior no parece influir lo suficiente como para incluir un sensor de este parámetro en el control, a no ser que esté lloviendo fuera, para lo que basta un sensor de lluvia; en este caso sí es recomendable cerrar la ventana.

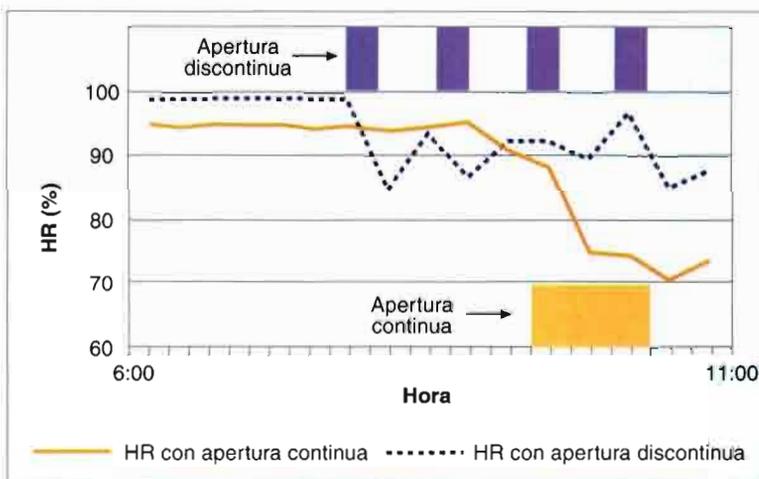
En el cuadro 1 se expresa la variación de la humedad relativa durante una hora (comenzando una hora después de amanecer), en función del tipo de calefacción (por aire caliente o por agua caliente), si la ventana cenital se abre o se mantiene cerrada (apertura de 25 cm.). De acuerdo con la columna de variación de humedad relativa, la apertura de la ventana cenital, combinada con calefacción, reduce el nivel de humedad en todos los casos, pero lo reduce más con aire caliente que con agua caliente.

En los experimentos también se compararon, para reducir la condensación, la apertura de la ventana en continuo (con 25 cm y con 70 cm, área máxima), o la apertura del área máxima de ventana (70 cm) pero de forma discontinua. Los resultados pare-

Los invernaderos de cubierta inclinada, recogen muy bien el agua condensada, la pendiente del techo es próxima a 25° y la gota no se engrosa escurriéndose a las zonas de recogida.



Gráfico 2 : Evolución media de la humedad relativa con dos estrategias de ventilación



cen indicar que es una estrategia de control simple y segura es la apertura continua de un área reducida hasta que se consiga reducir la humedad relativa a límites aceptables, siempre combinada con calefacción. Aperturas superiores pueden ser más eficaces, en deter-

minadas condiciones, para reducir la humedad relativa, pero también ocasionan variaciones mayores de la temperatura interior, y un mayor consumo de energía.

En el gráfico 2 se representa la evolución media de la humedad relativa con dos estrategias de ventilación: apertura continua y apertura discontinua o intermitente de la ventana cenital, combinada en ambos casos con calefacción. Se aprecia que con las dos estrategias se consigue reducir la humedad relativa en las primeras horas de la mañana. Los experimentos indican que parece una estrategia más simple y segura la apertura continua de la ventana cenital (25 cm.).

Un exceso de humedad relativa favorecerá la aparición y difusión de enfermedades, mientras que las humedades bajas pueden causar el cierre estomático y complicar problemas de estrés por altas temperaturas

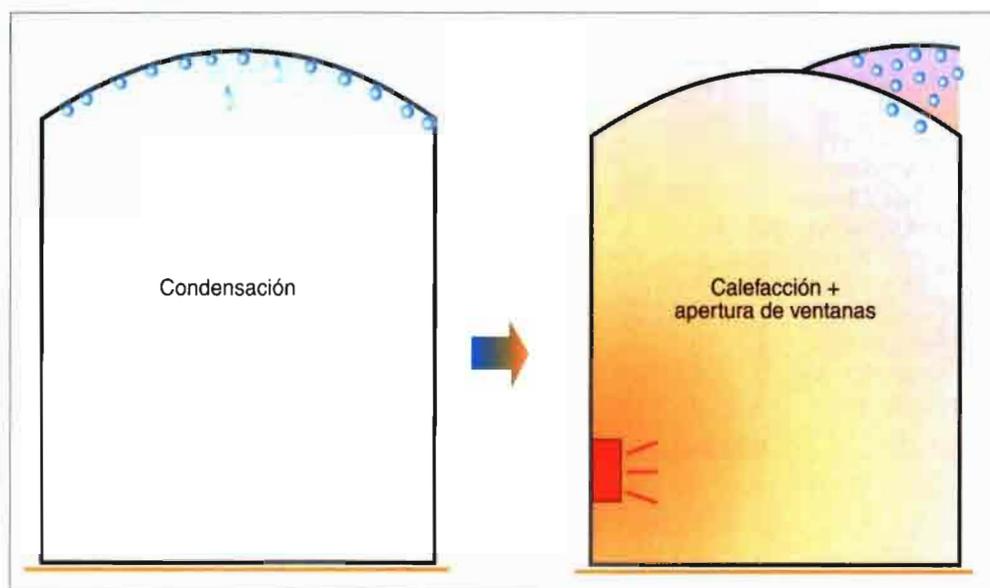
Cuadro 1:

Variación de la humedad relativa en función del tipo de calefacción

Año	Calefacción	Ventana cenital	Humedad relativa inicial (%)	Variación de humedad relativa (%)
2000/2001	Sin calefacción	Cerrada	96,9	+ 1,0
	Agua caliente	Cerrada	90,1	+ 0,1
	Agua caliente	Abierta	84,4	- 3,2
	Aire caliente	Cerrada	95,8	- 1,8
	Aire caliente	Abierta	90,0	- 5,9
2001/2002	Sin calefacción	Cerrada	87,8	+ 3,2
	Aire caliente	Cerrada	95,5	- 0,5
	Aire caliente	Abierta	94,9	- 12,1

Figura 2:

Estrategia óptima para la condensación



¿Cómo evitar la condensación?

El diseño del techo del invernadero influye en los problemas de condensación. Los invernaderos holandeses, tipo Venlo, recogen muy bien el agua condensada, porque la pendiente del techo es próxima a 25°, y como la longitud de cada vidrio es de dos metros desde cumbre a canalón, la gota no engrosa tanto como para que la gravedad venza a las fuerzas superficiales (con lo que el agua escurre a las zonas de recogida). En cambio, los invernaderos de cubierta plástica y techo curvo tienen un peor diseño contra la condensación, ya que en la cumbre la pendiente es nula, el agua no escurre y las gotas se acumulan.

En cualquier caso, parece claro que la solución óptima contra la condensación es la acción combinada de la calefacción de aire caliente con la apertura reducida de la ventana cenital. Sin embargo, pocos invernaderos comerciales cuentan con calefacción. Ver figura 2.

En invernaderos sin calefacción, una recomendación posible es la apertura gradual de la ventana cenital a medida que el sol va calentando el invernadero, es decir, la utilización del sol como sistema de calefacción. La apertura de ventanas sin radiación solar, en épocas frías, hará descender la temperatura en el invernadero, y en lugar de reducir la humedad relativa puede aumentarla y agrava

Reguladores de alta presión

Especialmente indicados para aguantar altas presiones. Regulación constante y fiable. Diseñados especialmente para uso en instalaciones de riego agrícola y de jardinería, tanto de goteo como aspersión.

Compatibles con las marcas más reconocidas de boquillas y aspersores agrícolas.

Pídalos por su nombre a su proveedor habitual.



Senninger

Con la garantía y seriedad de: **Copersa**

Apartado de Correos, 140, 08340 - Vilassar de Mar (Barcelona). Tel: 902 10 33 55 * Fax: 937 59 50 08 * E-mail: riegos@copersa.com * Web: www.copersa.com

var la condensación. En períodos cálidos puede ser útil contar con ventiladores, que reduzcan la humedad interior introduciendo aire seco exterior.

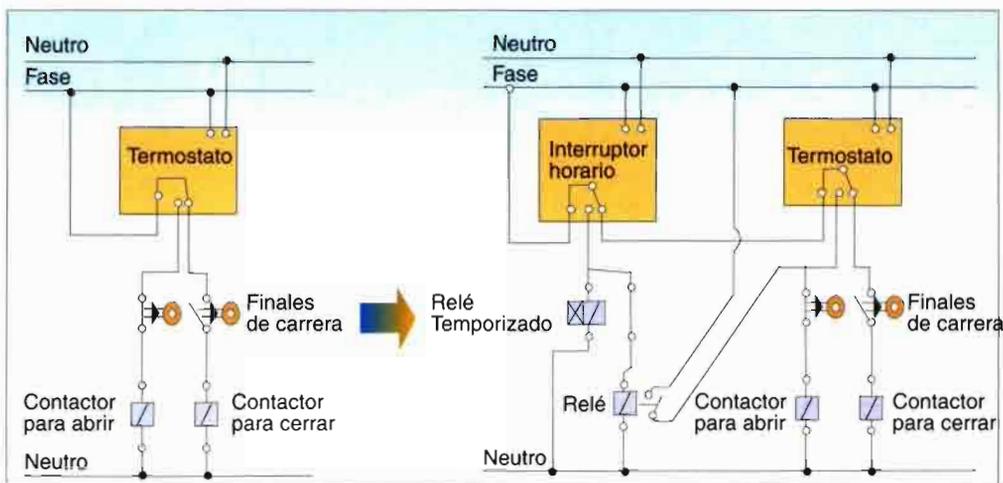
En invernaderos que se estén planteando instalar calefacción, la recomendación es instalar pequeñas potencias (del orden de 100 W/m²) de calefacción por aire caliente, como aerotermos o generadores de aire caliente. Aunque el consumo de energía es algo superior a la calefacción por agua caliente, en España la campaña de calefacción es corta, el consumo de energía pequeño en general, y los sistemas por aire caliente permiten controlar a la vez la temperatura y la humedad relativa con facilidad. Además su coste de instalación es menor, y ocupan menos espacio.

En invernaderos con calefacción el problema consiste en el control de la ventana cenital para que sólo realice una apertura reducida contra la condensación de noche y a primera hora de la mañana, pero que pueda abrirse al máximo al mediodía, una situación típica por ejemplo del mes de mayo. En este aspecto hay que distinguir los invernaderos controlados por uno o varios termostatos de aquellos invernaderos que disponen de un ordenador de control climático.

Si las ventanas están controladas por un termostato, basta con añadir los elementos que aparecen en la figura: un interruptor horario, un relé temporizado a la conexión, del que se usa un contacto normalmente cerrado, y un relé normal, del que se usa un contacto normalmente abierto. El coste conjunto de estos tres elementos está en torno a los 80 euros (unas 13.000 pesetas); su coste total, incluida la instalación, no debería superar los 180 euros (30.000 pesetas). Mediante el interruptor horario, el usuario puede fijar el período de actuación contra la condensación (por ejemplo, de 7:00 a 10:00 horas); con el relé temporizado, el usuario puede fijar el porcentaje de apertura de la ventana, fijando el tiempo necesario

Figura 3:

Cambios a realizar en el esquema eléctrico para incorporar una estrategia de control contra la condensación



El diseño del techo influye en los problemas de condensación. Los invernaderos de cubierta plástica y techo curvo tienen un peor diseño ya que en la cumbre la pendiente es nula, acumulándose el agua y las gotas.



para que abra unos 25 centímetros; por último, el relé normal evita interferencias entre el termostato y el relé temporizado. El esquema eléctrico que se propone es válido para un invernadero con ventana cenital; los mismos ele-

mentos serían válidos para un invernadero con ventana cenital y lateral, con mínimos cambios en el cableado (puesto que en este caso habría cuatro interruptores automáticos o contactores). Utilizando este sistema, la ventana cenital realizará la apertura reducida deseada (por ejemplo 25 cm) en el horario fijado (de 7:00 a 10:00 horas) y el resto del tiempo estará controlada por el termostato, con la apertura al máximo.

Los invernaderos controlados por ordenador generalmente permiten ventilar de un modo combinado por temperatura y humedad, con factores correctores o influencias para tener un control proporcional; la acción de apertura y cierre es gradual en función

Un fenómeno no deseado debido a los problemas de humedad y temperatura es la condensación sobre el cultivo y sobre la cubierta. Ésto provoca pérdidas de radiación y goteo sobre el cultivo facilitando la proliferación de enfermedades criptogámicas



La apertura y cierre de ventanas, junto con la calefacción son instrumentos de control de humedad en el invernadero (foto Agrocomponentes).

usa un contacto normalmente cerrado, y un relé normal, del que se usa un contacto normalmente abierto. Mediante el interruptor horario, el usuario puede fijar el período de actuación contra la condensación (por ejemplo, de 7:00 a 10:00 horas) y con el relé temporizado, el usuario puede fijar el porcentaje de apertura de la ventana, fijando el tiempo necesario para que abra unos 25 cm.

de la diferencia entre el valor medido y el valor de consigna. Además los ordenadores dividen el día en distintos periodos para los que se pueden elegir distintos valores de consigna. Si el invernadero está controlado por un ordenador, probablemente será sencillo introducir un programa anti-condensación, de forma que si la humedad relativa supera el 90%, se produzca una apertura reducida de la ventana cenital, hasta que se reduzca por debajo del 80%, siempre

combinando la acción de la calefacción. Este programa debería aplicarse a la caída de la tarde, de noche y a primera hora de la mañana.

En la figura 3 se observan los cambios que habría que realizar en el esquema eléctrico del cuadro del invernadero respecto al accionamiento de la ventana cenital, para incorporar una estrategia de control contra la condensación. Se añaden tres aparatos: un interruptor horario, un relé temporizado a la conexión, del que se

Agradecimientos

- El presente artículo se ha realizado, gracias a los siguientes proyectos de investigación: Proyecto CICYT AGL2000-1536-C02-01: Algoritmos para el control integral del clima del invernadero orientados a una producción de calidad y Proyecto UPM: Desarrollo de un controlador del clima de invernaderos con estrategias avanzadas (ayudas de I+D para grupos potencialmente competitivos).



¿Le gustaría tener un trocito de cielo en su invernadero?

¿Ha estado alguna vez en un invernadero con pantallas **ALUMINET** de alta calidad? Además de garantizar el mejor microclima para sus cultivos, también proporciona unas condiciones ambientales únicas para el desarrollo del trabajo: Una temperatura suave, una luz casi divina... Para usted es casi como estar en el cielo. Y si usted y sus trabajadores se sienten bien, su trabajo es más productivo. ¿Quiere que siga?



ALUMINET
PANTALLA TERMIO-REFLECTORA

El cielo ideal para su cultivo



Polysack Europa S.L.

Dirección Postal: Apartado de Correos 35.050 - D.P. 08080 Barcelona (España)
Tel 93 228 21 03 - Fax: 93 228 21 04 - Email: europa@polysack.com - Internet: www.polysack.com

Polysack Plastic Industries (R.A.C.S) Ltd.

Via Yzbitok, 0/n Nagev 16465, ISRAEL, Tel: 972 9 1999720 fax: 972 9 1999710
E-mail: sales@polysack.com - Internet: www.polysack.com



ALUMINET es el marca registrada de Polysack Plastic Industries (R.A.C.S) S.L. y de Polysack Plastic Industries (R.A.C.S) Ltd. en Israel. © 2004. Todos los derechos reservados. Printed in Spain. Printed in Israel.