



/ 09

Documentos **Técnicos**



## Sistemas pasivos de climatización en períodos fríos.

### Dobles techos

Francisco José Salvador Sola

# **Sistemas pasivos de climatización en períodos fríos. Dobles techos**

Documentos **Técnicos** [nº 09]

# **Sistemas pasivos de climatización en períodos fríos. Dobles techos**

**Francisco José Salvador Sola  
(Nature choice, SAT)**

## SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN EN PERÍODOS FRÍOS. DOBLES TECHOS

© 2015 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores  
© de la edición: Cajamar Caja Rural

**Edita:** Cajamar Caja Rural  
[www.publicacionescajamar.es](http://www.publicacionescajamar.es)  
[publicaciones@cajamar.com](mailto:publicaciones@cajamar.com)

**Diseño y maquetación:** Beatriz Martínez Belmonte

**Depósito Legal:** AL-983-2010

**Fecha de publicación:** febrero 2015

---

*Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.*

# Índice

---

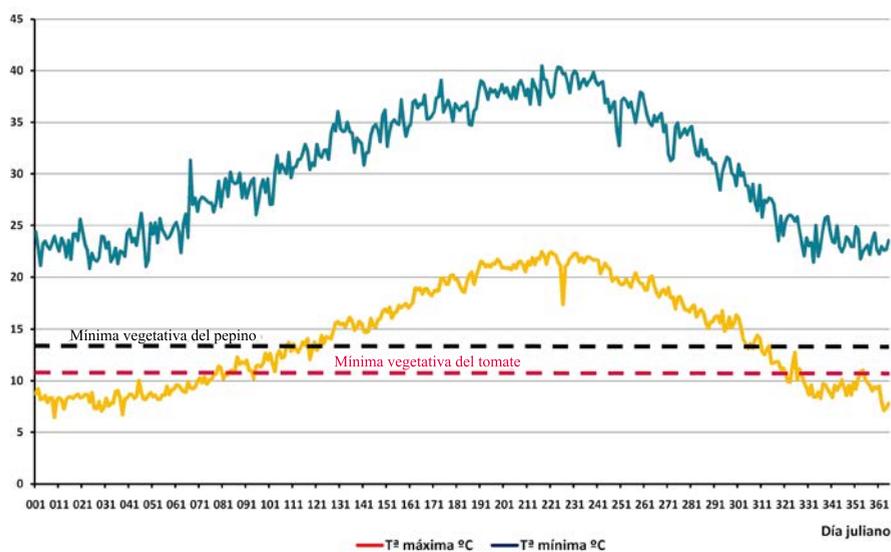
1. El clima del invernadero en invierno.....	7
2. Calefacción pasiva .....	8
3. Ventajas e inconvenientes de los dobles techos.....	10
4. Geometría de un doble techo. Materiales disponibles.....	17
5. Formas más habituales de disponer dobles techos .....	20
5.1. <i>Dobles techos de «poniente a levante»</i> .....	20
5.2. <i>Dobles techos de «norte a sur»</i> .....	26
5.3. <i>Dobles techos estrechos de «norte a sur»</i> .....	31
5.4. <i>Dobles techos asimétricos e inversos</i> .....	34
6. Dobles techos móviles .....	36
6.1. <i>Doble techo abierto-cerrado en cumbreras sincronizado         con la ventilación</i> .....	37
6.2. <i>Doble techo enrollable</i> .....	38



## 1. El clima del invernadero en invierno

A diferencia de los invernaderos altamente tecnificados del norte de Europa, los invernaderos de plástico del área mediterránea no permiten una completa modificación de las condiciones climáticas en su interior. El diseño del invernadero típico de Almería persigue –más que una completa modificación del clima– maximizar la captación de energía solar durante el día y minimizar las pérdidas de calor durante la noche. Con este concepto de *captador solar* se logra –sin ningún aporte artificial de energía– crear en el interior del invernadero unas condiciones climáticas subóptimas que, aunque no nos permitan obtener la máxima producción de las plantas, al menos sí posibilitan el desarrollo del cultivo a contraestación y la introducción de géneros en los mercados justo en una época del año en la que tradicionalmente los precios compensan sobradamente la merma de producción.

**Gráfico 1. Temperaturas máximas y mínimas en los invernaderos de Almería (serie histórica 2002-2014). En °C**



Obsérvese que durante el invierno las mínimas son ligeramente inferiores a las mínimas vegetativas para pepino y tomate generalmente aceptadas en la bibliografía.

Fuente: Estación climática bajo invernadero (IFAPA de La Mojonera). Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía. Elaboración propia.

Las características principales del clima invernal de nuestros invernaderos son:

- *Marcado salto térmico día-noche*, con grandes diferencias entre la temperatura máxima diurna (que puede superar los 25 °C) y la temperatura mínima nocturna (que habitualmente desciende de los 10 °C).
- *Una humedad ambiental muy alta durante el día* (de al menos un 80 % con plantas desarrolladas) y *muy cercana a la saturación por la noche*, aunque los vientos pueden modificarla sensiblemente.
- *Condensación de agua en la cara interior de la cubierta del invernadero y goteo sobre el cultivo*, estas condiciones se dan de noche durante prácticamente todo el ciclo productivo; pero en invierno son también muy habituales durante el día, tanto por la gran diferencia de temperaturas entre el aire del invernadero y el exterior como por la acumulación del aire caliente y húmedo en las capas superiores del invernadero.
- *Inversiones térmicas al amanecer en noches sin nubes*, al aumentar las pérdidas de calor por radiación el aire del invernadero llega a alcanzar temperaturas más bajas que el aire exterior.
- *Acumulación de aire caliente y húmedo en las áreas de mayor cota del invernadero*, lo que en invernaderos en pendiente origina el retraso del cultivo en las zonas más bajas y problemas de exceso de humedad en las zonas más altas.

## 2. Calefacción pasiva

Es evidente que la forma más eficaz de mejorar las condiciones climáticas en cualquier invernadero es el aporte extra de calor mediante calefacción. Aunque se han instalado sistemas de calefacción por aire caliente en algunos invernaderos de Almería, su uso no se ha popularizado debido tanto al alto coste del sistema como –y sobre todo– de los combustibles fósiles empleados<sup>1</sup>. Por ello, los esfuerzos se han centrado en mejorar el balance térmico del invernadero, aumentando el calor acumulado durante el día y minimizando las pérdidas de calor durante la noche, empleando para

---

<sup>1</sup> La aparición de sistemas de calefacción por convección mediante calefactores alimentados con biomasa puede cambiar esta situación, pues el precio del combustible es mucho menor.

ello una serie de técnicas de reducido coste denominadas en su conjunto calefacción pasiva:

- *Cortinas plásticas.* Láminas plásticas que dividen verticalmente el invernadero, compartimentándolo en varios recintos. Suelen emplearse en invernaderos con pendiente, para impedir el desplazamiento natural del aire caliente y húmedo hacia las cotas más altas y así homogeneizar el clima del invernadero.
- *Acolchados plásticos.* Láminas plásticas dispuestas sobre el terreno que incrementan la cantidad de calor captado por el suelo del invernadero durante el día. Son muy útiles cuando la planta tiene poco porte, aunque su efectividad disminuye considerablemente con el sombreado del cultivo. Al reducir la evaporación del suelo disminuyen la humedad relativa, pero aumentan el riesgo de daños en la raíz por encharcamiento o exceso de temperatura. Los agricultores suelen utilizar plásticos negros –de menor eficacia térmica, pero que dificultan el crecimiento de malas hierbas–.
- *Mantas térmicas.* Se trata de láminas textiles muy ligeras diseñadas para ser utilizadas directamente sobre el cultivo. Su efecto térmico es reducido y su uso –salvo en cultivos rastreros como melón o sandía– queda limitado a las primeras semanas tras el trasplante, pero son muy utilizadas y bien valoradas por los agricultores al impedir el acceso de plagas a las plántulas.
- *Tunelillos.* Lámina plástica dispuesta a poca altura sobre el cultivo –apoyada en arcos, cuerdas u otros elementos de sostén– formando una cámara aislada muy hermética. Su efecto térmico es muy importante y mejora mucho la precocidad en cultivos de primavera extratempranos, pero la humedad relativa en el interior de la cámara llega a alcanzar valores demasiado altos. Es conveniente retirarlo de forma progresiva –abriendo agujeros de ventilación en el plástico antes de quitarlo por completo– para evitar que el cambio brusco de las condiciones climáticas afecte negativamente al cultivo.
- *Doble techo.* Es sin duda la técnica de calefacción pasiva que más se ha desarrollado en los últimos años, adquiriendo gran popularidad entre los agricultores de la zona –hasta el punto de considerarse imprescindible en la mayoría de los ciclos de pepino–. Resulta ideal para conseguir un aumento de la temperatura mínima nocturna en cultivos entutorados y ya desarrollados, pues permite un cómodo

acceso de los trabajadores a las plantas, y es fácil de combinar con otras técnicas de calefacción pasiva como el acolchado y las cortinas plásticas. Combinando todas estas técnicas con la ventilación, es factible conseguir un incremento de la mínima nocturna de hasta 4 °C, aunque –como veremos más abajo– es necesario combinarlo con una adecuada ventilación diurna que permita la actividad transpiratoria y fotosintética del cultivo y evite –o al menos dificulte– la aparición de problemas fúngicos.

**Imagen 1. Distintas técnicas de calefacción pasiva empleadas en los invernaderos de Almería**



*a) cortinas plásticas, b) acolchado plástico, c) mantas térmicas y d) tunelillos.*

### **3. Ventajas e inconvenientes de los dobles techos**

El doble techo consiste en una lámina plástica que divide al invernadero en dos cámaras –inferior y superior– con el objetivo de incrementar el calor acumulado durante el día en la inferior y ralentizar la pérdida de este calor durante la noche. Aunque originalmente comenzó a desarrollarse buscando solamente este efecto térmico, es tan o más importante su efecto sobre el goteo de la cubierta del invernadero, pues si se dispone correctamente se evita completamente la caída de agua sobre el cultivo.

Comparada con las otras técnicas de calefacción pasiva el doble techo es más caro, aunque infinitamente más económico que los sistemas de calefacción activa más simples. Para disponer la lámina plástica se necesita una estructura de alambres –que podrán ser reutilizados las siguientes campañas– lo cual supone una inversión que, según el tipo de doble techo, oscila entre 0,35 y 0,50 € m<sup>2</sup>. Además, la lámina de plástico debe ser más gruesa pues soportará tensión y deberá resistir todo el cultivo y, su colocación es más compleja, lo que supone un coste de unos 0,15 € m<sup>2</sup>. Sin embargo las ventajas derivadas de su correcta utilización –enumeradas a continuación– compensan con mucho este sobrecoste:

- *Aumento de la temperatura mínima nocturna*, aunque no disponemos de datos concretos, estimamos que puede cifrarse en 2-3 °C en dobles techos cerrados y 1-2 °C en dobles techos abiertos. Este incremento dependerá también del tamaño, la geometría y la orientación del invernadero. Cuanto mayor sea la transmisividad de la luz en el invernadero –en función de su geometría y orientación– mejor serán los resultados. Del mismo modo, cuanto más superficie tenga un invernadero los resultados serán mejores, pues la relación entre el volumen encerrado en la cámara inferior y la superficie de contacto entre cámaras será mayor.
- *Reducción de las oscilaciones de temperatura y humedad relativa*, siempre que se combine con una adecuada gestión de la ventilación durante el día.
- *Eliminación del goteo sobre el cultivo*. Este efecto –a veces considerado secundario– resulta muy importante para el control de enfermedades directamente relacionadas con la presencia de agua líquida sobre las plantas (podredumbres, mildius y bacteriosis) y determinadas fisiopatías (*micro-craking*). Además ayuda en la reducción del empleo del mancozeb en ciclos medios y tardíos de pepino, facilitando la instalación del *Amblyseius swirskii* –y por tanto el control integrado de plagas– en este cultivo.

Por el contrario, un doble techo mal colocado o mal usado origina la aparición de tres tipos de problemas:

- *Golpes de calor a mediodía*. En días de fuerte insolación la temperatura de la cámara inferior puede alcanzar valores alarmantes,

llegando a ocasionar la marchitez –permanente o temporal– de las plantas. Es un problema típico en ciclos medios de pepino si se coloca el doble techo desde el momento del transplante (septiembre) que se corrige simplemente retrasando su colocación.

- *Problemas fitosanitarios derivados de la presencia de agua sobre el cultivo.* La presencia de agua sobre las plantas bajo un doble techo puede originarse por dos motivos:
  - *Diferencias de temperatura demasiado elevadas entre las cámaras inferior y superior del invernadero.* En días de fuerte insolación y con dobles techos muy cerrados la diferencia de temperatura entre las cámaras inferior y superior origina la condensación de agua líquida sobre la cara interna de la lámina plástica. Si la pendiente del doble techo es demasiado baja, el agua acabará cayendo sobre el cultivo ocasionando la aparición de problemas criptogámicos.
  - *Formación de nieblas.* Una insuficiente ventilación de la cámara inferior puede incrementar durante el día su humedad relativa a valores cercanos a la saturación. Al atardecer, el brusco descenso de la temperatura del aire de esta cámara inferior provoca la condensación del vapor de agua en forma de niebla, que no se disipará hasta bien entrada la mañana siguiente. Decir que estas nieblas favorecen enormemente la aparición de enfermedades en el cultivo.

Ambos problemas se solucionan ventilando adecuadamente la cámara inferior durante el día, evitando simultáneamente el excesivo calentamiento de la misma y que la humedad relativa alcance valores cercanos a la saturación.

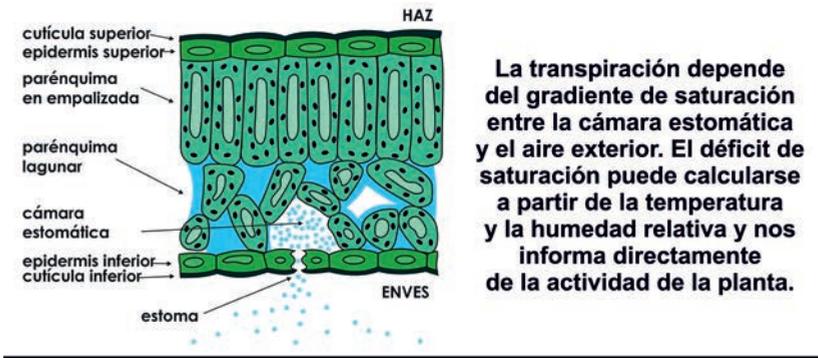
- *Falta de actividad de planta por malas condiciones de transpiración.* Sobradamente conocida es la influencia que tiene la transpiración sobre los procesos vegetales; y uno de los más afectados es la fotosíntesis, precisamente el más determinante en la producción agrícola. El proceso fotosintético tiene al agua y al CO<sub>2</sub> como materias primas y a la luz solar como fuente energética, y la transpiración afecta a estos tres factores: evidentemente de forma directa a la

disponibilidad de agua en la hoja, pero también es necesario que la hoja transpire eficientemente tanto para mantener la turgencia y captar bien la luz solar, como para que los estomas permanezcan abiertos y el  $\text{CO}_2$  penetre en sus tejidos. Tanto es así, que se puede afirmar que –cuando otros factores no son limitantes– la actividad fotosintética aumenta proporcionalmente con la transpiración.

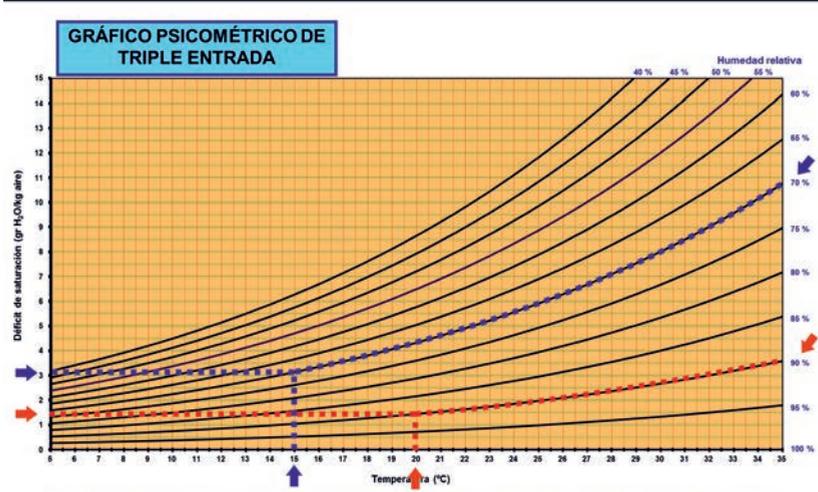
Trataré de describir someramente la fisiología de la transpiración apoyándome en la Imagen 2, que muestra el esquema del corte transversal de una hoja. En el envés se dispone el parénquima lagunar, con grandes espacios intercelulares conectados directamente con el xilema y en su mayor parte llenos de agua. A su vez, este espacio intercelular se conecta con el exterior mediante la cámara estomática y a través de los estomas. Al calentarse la hoja, parte del agua del espacio intercelular se evapora saturando de vapor de agua el aire de la cámara estomática, estableciéndose así –puesto que esta comunicada con el exterior a través del estoma– un gradiente de saturación entre la cámara estomática y el aire exterior –generalmente mucho más seco– que fuerza a las moléculas de vapor de agua a atravesar el estoma. Para compensar esta pérdida de saturación se evapora más agua del parénquima lagunar y –debido a la cohesión de las moléculas de los líquidos– la succión se transmite hasta las raíces a través del xilema, lo que permite a la planta absorber agua del suelo. En resumen, la planta puede transpirar –y hacer la fotosíntesis– gracias a que existe un gradiente de saturación entre la cámara estomática y el aire exterior; pero bajo un doble techo demasiado cerrado la humedad relativa alcanza valores cercanos –o superiores– al 90 % (es decir, próximos a la saturación) con lo que este gradiente entre la cámara estomática y el aire exterior deja de existir. En estas condiciones es imposible la transpiración y la fotosíntesis se ralentiza, con la consiguiente merma de producción.

Este problema es consecuencia de tratar de mejorar la temperatura del invernadero aún a costa de mantener humedades relativas demasiado altas. En este sentido, el uso para el manejo del clima del concepto de déficit de saturación resulta revelador. El déficit de saturación –parámetro que puede calcularse a partir de la temperatura y la humedad relativa– tiene un fuerte significado biológico, pues coincide casi exactamente con el gradiente de saturación entre la cámara estomática y el exterior, informándonos directamente de la actividad transpiratoria de la planta.

**Imagen 2. Esquema de una hoja vegetal (arriba) y uso del gráfico psicrométrico de triple entrada para valorar la actividad de planta a distintos valores de temperatura y humedad relativa (abajo)**



La transpiración depende del gradiente de saturación entre la cámara estomática y el aire exterior. El déficit de saturación puede calcularse a partir de la temperatura y la humedad relativa y nos informa directamente de la actividad de la planta.



**Más temperatura no siempre significa mayor actividad de planta**

Condiciones más calientes y húmedas (20 °C, HR 90 % y DS de 1,5 kg H<sub>2</sub>O kg aire<sup>-1</sup>) corresponden a una actividad de planta sensiblemente inferior que condiciones más frías y secas (15 °C, HR 70 % y DS de 3 kg H<sub>2</sub>O kg aire<sup>-1</sup>) –téngase en cuenta que las plantas transpiran eficientemente a valores del déficit de saturación de entre 2 y 7 gr H<sub>2</sub>O kg aire<sup>-1</sup>–.

Los controladores de clima avanzados calculan automáticamente el déficit de saturación que corresponde a cada pareja de valores de temperatura y humedad relativa y, hay disponibles aplicaciones gratuitas para teléfonos inteligentes que permiten calcularlo muy fácilmente. Sin embargo, no está de más conocer las bases de su cálculo, que expondremos a conti-

nuación. Aunque en la bibliografía científica se suele utilizar el concepto de *presión de vapor*, en la práctica de campo se utiliza el concepto de Proporción de Mezcla, expresando el déficit de saturación en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire  $-\text{g H}_2\text{O(v) Kg aire}^{-1}-$ . La Proporción de Mezcla ( $w$ ) del aire puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$w = 0,621 \cdot \frac{PV_{(t)}}{Patm - PV_{(t)}} \cdot 1.000 \quad [1]$$

Donde  $PV_{(t)}$  representa la presión de vapor a la temperatura actual y  $Patm$  la presión atmosférica, ambas expresadas en Pascales  $-\text{Pa}-$ . La presión de vapor saturante a la temperatura actual  $-PV_{sat(t)}$  puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$PV_{sat(t)} = e^{\ln 10 \cdot 2,87 \cdot \frac{7,5 \cdot t}{237,2+t}} \quad [2]$$

Donde  $t$  es la temperatura actual expresada en  $^{\circ}\text{C}$ . Sustituyendo en la ecuación [1], podemos calcular la proporción de mezcla en saturación  $-w_{sat(t)}$ , que nos indicará la saturación de la cámara estomática.

$$w_{sat(t)} = 0,621 \cdot \frac{e^{\ln 10 \cdot 2,87 \cdot \frac{7,5 \cdot t}{237,2+t}}}{Patm - e^{\ln 10 \cdot 2,87 \cdot \frac{7,5 \cdot t}{237,2+t}}} \quad [3]$$

La presión atmosférica  $-Patm_{(0)}$  a nivel del mar se considera por convenio con un valor de 101.325 Pa, valor que puede utilizarse sin errores apreciables hasta unos 700 metros de altitud. Para cotas superiores deberá ajustarse el valor de la presión atmosférica  $-Patm_{(h)}$ , pudiéndose utilizar la siguiente fórmula:

$$Patm_{(h)} = Patm_{(0)} \cdot \left(1 - \frac{h \cdot L}{t_{(0)}}\right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}} \quad [4]$$

Donde:

- $h$  es la altitud en metros
- $t_{(0)}$  es la temperatura estándar a nivel del mar (establecida por convenio en 15 °C) expresada en grados kelvin  $-288,15 \text{ K}$ .
- $L$  es la variación de la temperatura con la altitud, con un valor de  $0,0065 \text{ K m}^{-1}$ .
- $g$  es la aceleración de la gravedad  $-9,80665 \text{ m s}^{-2}$ .
- $M$  es la masa molar del aire seco  $-0,0289644 \text{ kg mol}^{-1}$ .
- $R$  es la constante universal de los gases  $-8,31447 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Por otra parte, de la propia definición de humedad relativa ( $HR$ ) se deduce:

$$HR = \frac{w_{(t)}}{w_{sat(t)}} \cdot 100$$

$$w_{(t)} = \frac{HR \cdot w_{sat(t)}}{100}$$
[5]

Donde  $w_{(t)}$  es la proporción de mezcla del aire a la temperatura y humedad relativa actuales. Una vez que conocemos los valores de  $w_{sat(t)}$  y de  $w_{(t)}$  el cálculo del Déficit de Saturación  $-DS-$  resulta muy sencillo:

$$DS = w_{sat(t)} - w_{(t)}$$
[6]

Con estas ecuaciones es factible construir un gráfico psicométrico de triple entrada como el que se muestra en la Imagen 2, en el que se representa en abscisas el Déficit de Saturación, en ordenadas la temperatura y se marcan las curvas correspondientes a los distintos valores de humedad relativa. Con esta herramienta estamos en condiciones de evaluar la actividad de planta que tendríamos con cada pareja de valores de humedad relativa y temperatura, en función del valor de déficit de saturación resultante. Para ello hay que tener en cuenta que las hortalizas de fruto transpiran eficientemente con valores de déficit de saturación de entre 2 y 7 g  $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$   $\text{kg aire}^{-1}$ , si bien las cucurbitáceas suelen preferir los valores inferiores de este rango y

las solanáceas los valores superiores. Al manejar el clima de un cultivo bajo un doble techo, el objetivo ha de ser que, durante las horas de luz, el cultivo pase el mayor tiempo posible en buenas condiciones de transpiración, evitando déficits de saturación demasiado bajos que impidan una correcta actividad fotosintética.

#### 4. Geometría de un doble techo. Materiales disponibles

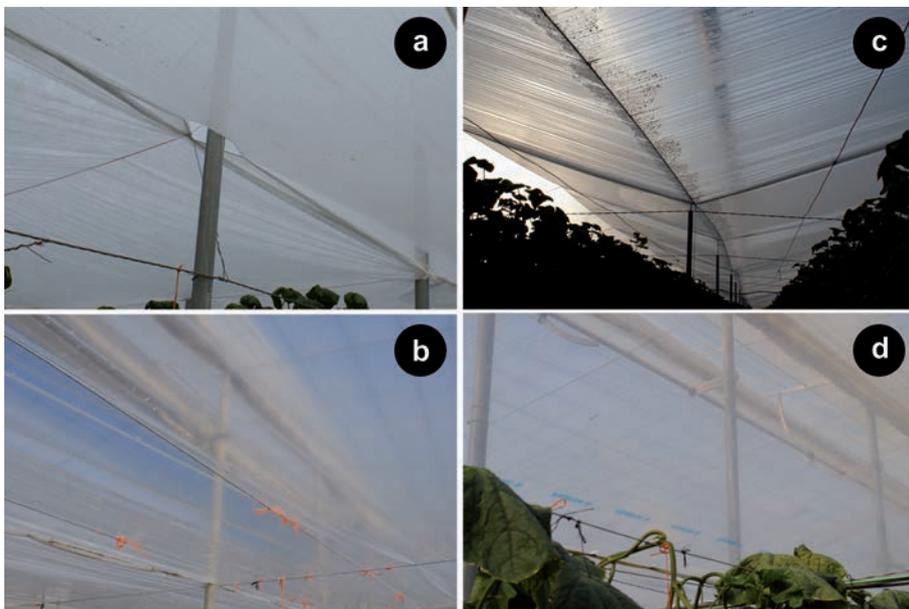
La heterogeneidad de los invernaderos almerienses (en cuanto estructuras, equipamiento, orientación, geometría, marcos de cultivo, ...) hace imposible definir exactamente cuál es la forma más correcta de colocar un doble techo. No queda otro remedio que buscar soluciones concretas en cada invernadero, tratando de conseguir las ventajas y evitando los inconvenientes expuestos en los párrafos anteriores; es decir, combinar el aumento de la temperatura mínima nocturna con unas buenas condiciones de transpiración diurnas, al tiempo que se evita en todo momento la presencia de agua líquida sobre las plantas. Sin embargo, sí pueden establecerse unos principios generales que han de tenerse en cuenta a la hora de diseñar un doble techo, los cuales se enumeran a continuación:

1. *Disponer el doble techo en capillas*, haciendo coincidir la parte más alta –o «raspa»– sobre el cultivo y evacuando el agua del goteo de la cubierta y la lluvia por su parte más baja –o «amagado»– que deberá coincidir con una zona libre de cultivo.
2. *Dar la máxima altura posible a las capillas del doble techo*, para maximizar la ascensión del aire caliente y húmedo –el llamado *efecto chimenea*– y permitir su acumulación durante el día en un volumen de la cámara inferior que no esté ocupado por el cultivo.
3. *No hermetizar completamente el doble techo*, para permitir la evacuación del aire caliente y húmedo hacia la cámara superior.

En definitiva, a la hora de disponer un doble techo será necesario sacrificar parte del posible incremento de temperatura, hasta encontrar una solución de compromiso entre la acumulación de calor y la necesidad de ventilación.

Cuatro son los materiales utilizados para la confección de dobles techos en los invernaderos de Almería. A mi juicio cada uno tiene sus ventajas y sus inconvenientes, que se exponen a continuación.

### Imagen 3. Materiales utilizados para el doble techo



a) manta térmica, b) plástico térmico, c) plástico térmico con tratamiento antigoteo y d) plástico de alta transparencia con tratamiento antigoteo.

- *Manta térmica.* Muy valorada por muchos agricultores por su efecto reductor de plagas, el uso de mantas térmicas para doble techo tiene como principal inconveniente la reducción de la luz que llega al cultivo. Al ser un textil permite cierto intercambio de aire entre las dos cámaras, al menos hasta que se empapa de agua. Evita eficazmente el goteo de la cubierta; pero la lluvia la empapa y –una vez empapada– comienza a gotear. Sin embargo, su capacidad para absorber el agua también tiene efectos positivos, pues regula la humedad relativa del invernadero, evitando cambios bruscos. Puede ser una buena alternativa en invernaderos bien orientados, estrechos y/o con mucha ventilación, en los que apenas hay problemas con los excesos de humedad relativa y la merma de luz no llega a ser demasiado limitante para el cultivo.

- *Plásticos térmicos de entre 100 y 150 galgas.* En este tipo de plásticos la condensación forma gotas semiesféricas, que acabarán cayendo por gravedad sobre el cultivo. Este incremento de la condensación implica una menor humedad relativa en la cámara inferior, cuando se les compara con los plásticos antigoteo. Además son más luminosos y económicos. Son una buena alternativa en dobles techos muy abiertos, en los que la cámara inferior y la superior siempre están en contacto directo y el riesgo de condensación bajo el doble techo es mínimo; en estos casos, la mayor luminosidad y el menor coste son una gran ventaja.
- *Plásticos térmicos de entre 100 y 150 galgas con efecto antigoteo.* Estos plásticos disponen de un tratamiento en su cara inferior que reduce su tensión superficial, gracias al cual el agua de condensación se dispone en una lámina continua sin formar gotas; pero los aditivos empleados reducen algo su transmisividad respecto a la del plástico térmico normal. Al condensarse menos agua la humedad relativa de la cámara inferior es algo más alta y estable que en los plásticos normales. El tratamiento antigoteo permite aumentar la hermeticidad del doble techo –pues puede tolerarse cierta condensación bajo el mismo– por lo que son los más utilizados en cultivos de pepino tardío, en invernaderos muy grandes y/o con ventilación limitada o en cultivos con apoyo de calefacción.
- *Plásticos de alta transparencia de entre 100 y 150 galgas con efecto antigoteo.* Este tipo de plásticos no tiene efecto difusor sobre la luz que los atraviesa, por lo que a primera vista parecen mucho más luminosos. Sin embargo, no hay que confundir transparencia con transmisividad, y su transmisividad es solo ligeramente superior al del plástico térmico. En días nublados –cuando predomina la luz difusa– la cantidad de luz que llega al cultivo es mayor, pero en días despejados –cuando predomina la luz directa– las hojas superiores del cultivo se calientan demasiado y pueden aparecer daños en las mismas. La gestión de la humedad y el goteo es muy similar al del plástico térmico antigoteo. Se utilizan en pepinos de ciclo tardío, y aumentan la precocidad del cultivo, aunque al alargarse el día a finales de enero obligan a adelantar varias semanas el blanqueo de la cubierta para evitar daños en el follaje del cultivo.

## 5. Formas más habituales de disponer dobles techos

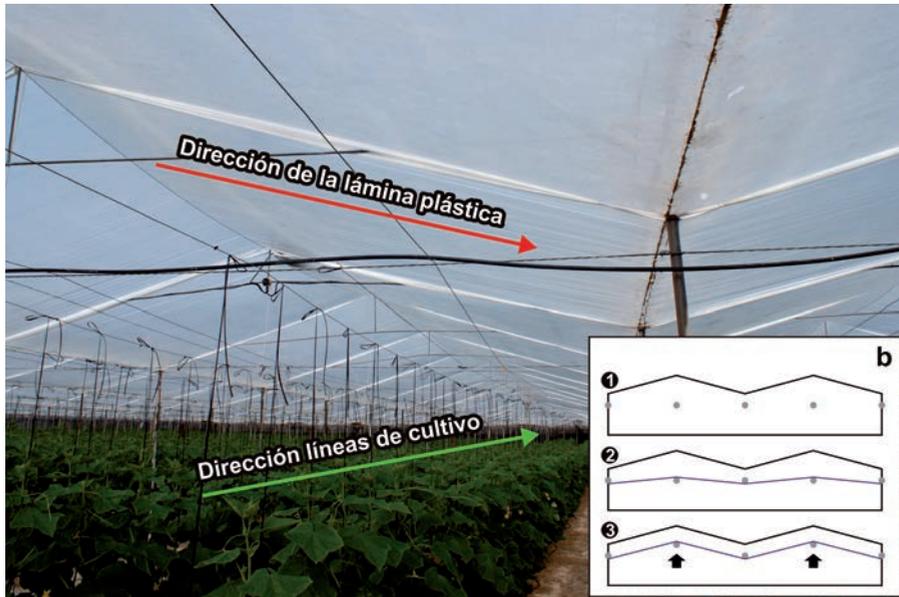
### 5.1. Dobles techos de «poniente a levante»

Sin duda el doble techo de «poniente a levante» es el más habitual en los cultivos de pepino tardío. En este caso las láminas plásticas se disponen perpendicularmente a las líneas de cultivo, haciendo coincidir las capillas del doble techo con las del propio invernadero. Siempre que se disponga antes del trasplante del cultivo es el más sencillo y rápido de colocar.

Para disponerlo se colocan alambres –paralelos a la dirección en la que irán las líneas de cultivo– bajo las «raspas» y los «amagados» del invernadero; los alambres bajo el «amagado» se fijan a la altura deseada y los de las «raspas» se dejan libres. Las láminas plásticas se extienden perpendicularmente a estos alambres, pasándolas por encima de los alambres libres –los situados bajo las «raspas»– y por debajo de los fijos –bajo los «amagados»–. Una vez que todas las tiras plásticas están extendidas, se levantan los alambres libres, tensándolos mediante cuerdas o enganchándolos en ganchos metálicos dispuestos bajo las raspas para tal fin; esta tensión forma las capillas del doble techo, que quedará perfectamente tenso y extendido cuando se complete totalmente el tensado de los alambres móviles.

El doble techo estrecho «de poniente a levante» es una modificación del anterior que recientemente ha comenzado a utilizarse en ciclos de pepino extra-tardío y en cultivos con apoyo de calefacción. Las láminas plásticas también se disponen perpendiculares a las líneas de cultivo, pero formando dos capillas de doble techo por cada capilla del invernadero, por lo que necesita el doble de alambres fijos y móviles. Así se reduce el volumen de la cámara inferior y se mejora el rendimiento térmico, aunque el incremento de temperatura en la cámara inferior y su menor ventilación aumentan los problemas de condensación bajo el doble techo.

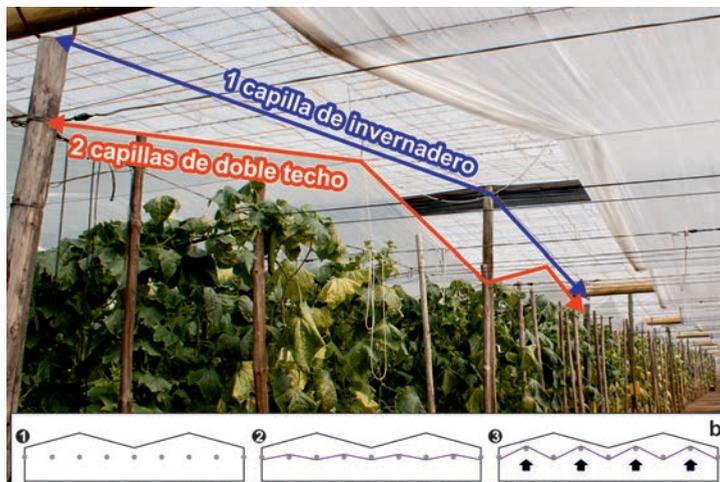
#### Imagen 4. Doble techo de «poniente a levante»



Las láminas plásticas se disponen perpendicularmente a las líneas de cultivo.

b) Esquema de la disposición de un doble techo de «poniente a levante»: b.1) se disponen alambres en la dirección de las líneas de cultivo, fijos bajo los «amagados» y libres bajo las «raspas»; b.2) las tiras plásticas se extienden perpendiculares a estos alambres, quedando por debajo de los alambres fijos bajo los «amagados» y por encima de los alambres móviles bajo las «raspas» y b.3) cuando todas las tiras plásticas están extendidas y unidas entre sí, se levantan simultáneamente los alambres libres bajo las «raspas» para dar tensión y formar las capillas del doble techo.

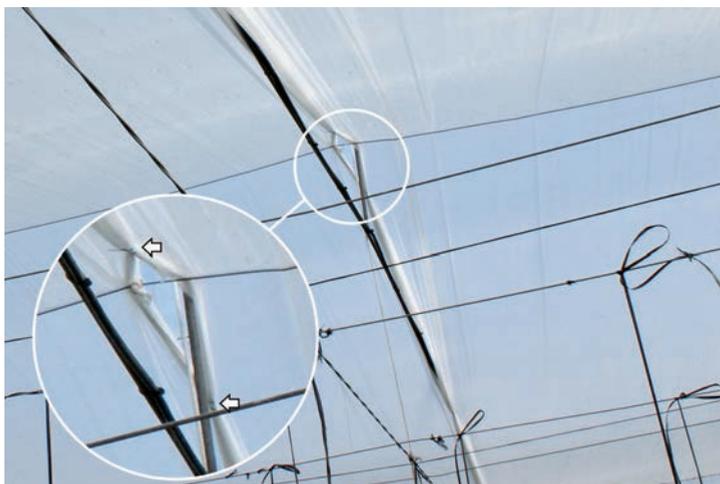
**Imagen 5. Doble techo estrecho «de poniente a levante»**



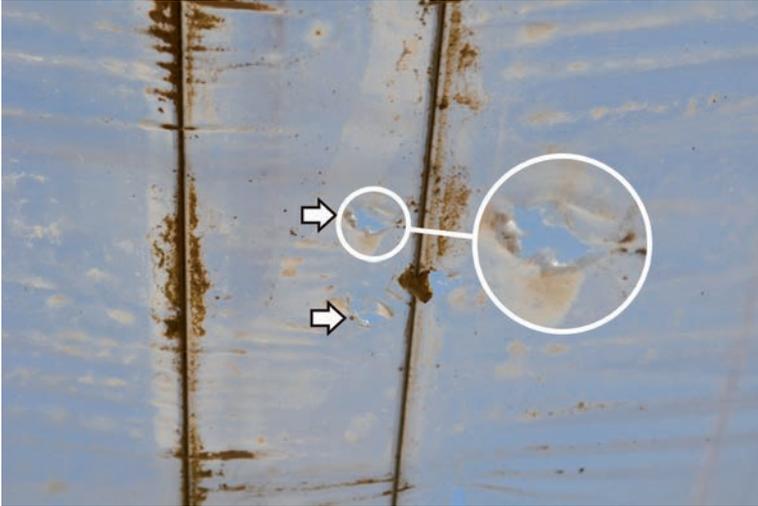
Las láminas plásticas también se disponen perpendiculares a las líneas de cultivo, pero en este caso se forman dos capillas de doble techo por cada capilla de invernadero.

b) Esquema de la disposición de un doble techo estrecho de «poniente a levante»: b.1) se disponen alambres en la dirección de las líneas de cultivo, fijos bajo los «amagados» y las «raspas» y fijos bajo el centro de cada media capilla; b.2) las tiras plásticas se extienden perpendiculares a estos alambres, quedando por debajo de los alambres fijos bajo los y por encima de los alambres móviles y b.3) cuando todas las tiras plásticas están extendidas y unidas entre sí, se levantan simultáneamente los alambres libres bajo el centro de las medias capillas para dar tensión y formar las capillas del doble techo.

**Imagen 6. Detalle de las lañas que unen las láminas plásticas en un doble techo «de poniente a levante»**



**Imagen 7. Detalle de los agujeros del amagado para la evacuación del agua**



En ambos casos las uniones de las láminas plásticas quedan sobre el cultivo, por lo que es necesario unir las entre sí para evitar la caída del goteo de la cubierta y del agua de lluvia sobre las plantas. Esta unión se realiza mediante lañas de alambre dulce colocadas a intervalos regulares, que hermetizan completamente el doble techo; evidentemente la unión de las tiras plásticas ha de hacerse con la lámina plástica aún «en plano», antes del tensado de los alambres libres. La evacuación del agua de goteo de la cubierta y –sobre todo– el agua de lluvia se permite mediante pequeños agujeros realizados en los «amagados» a tal efecto, pues de lo contrario el peso del agua acumulada sobre el doble techo rasgaría la lámina plástica.

### Imagen 8. Formas de ventilar el invernadero



*a) La forma más fácil y eficaz de ventilar la cámara inferior es retirar la lámina plástica que cubre los pasillos del invernadero, pero se pierde más eficiencia térmica; b) manta térmica colocada sobre los pasillos del invernadero, con lo que se permite cierto intercambio de gases entre las cámaras durante el día; c) cortinas plásticas colocada en los márgenes de los pasillos para hermetizar la cámara inferior durante la noche –con las cortinas desplegadas– y conectar las dos cámaras durante el día –con las cortinas plegadas– y d) doble techo automatizado en los pasillos, que abre la cámara inferior durante el periodo de ventilación y la cierra al finalizar el mismo, sincronizado con la ventanas cenitales automatizadas.*

La alta hermeticidad en cualquiera de estos dos tipos de doble techo complica sobremanera la gestión de la humedad relativa en la cámara inferior, lo que aumenta enormemente el riesgo de condensación bajo los dobles techos de «poniente a levante». En este tipo de doble techo, la única forma efectiva de ventilar la cámara inferior es utilizar los pasillos de servicio del invernadero como elemento de ventilación, permitiendo a través de ellos el intercambio del aire entre las dos cámaras –lo que en la práctica significa perder eficiencia térmica y rebajar la temperatura mínima nocturna–. Evidentemente, la forma más eficaz de ventilar es retirar la lámina de plástico que cubre el pasillo –o directamente no instalarla– (Imagen 8.a); pero las dos cámaras estarían en comunicación permanente, lo que supone incrementar las pérdidas de calor durante la noche. Algunos agricultores optan por sustituir la lámina plástica que cubre los pasillos por manta térmica (Imagen 8.b), que al ser un textil permite cierta circulación de aire durante el día; a mi juicio no es una solución totalmente eficaz, pero es cierto que puede ser

suficiente en algunos invernaderos. Mucho más eficaz es la combinación de un doble techo con cortinas plásticas en los márgenes de los pasillos, dejando sin colocar la lámina plástica sobre los mismos (Imagen 8.c); las cortinas se plegarían durante el día –permitiéndose la comunicación entre las cámaras– y se desplegarían durante la noche –hermetizando la cámara inferior–. Esta última solución obliga a una atención y mano de obra diaria, por lo que algunos agricultores han ideado sistemas automáticos para plegar y desplegar el doble techo de los pasillos (Imagen 8.d); estos sistemas funcionan sincronizados con las ventanas cenitales automáticas, de manera que la cámara inferior se abre durante el periodo de ventilación y se cierra al finalizar el mismo. En todo caso, en un doble techo de «poniente a levante» los pasillos de servicio del invernadero son un elemento de ventilación imprescindible, que ha de gestionarse adecuadamente si se quieren evitar problemas con enfermedades o de falta de actividad en la planta.

Resumiendo, los dobles techos de «poniente a levante» tienen como principal ventaja una mayor acumulación de calor, que se traduce en un mayor incremento de la temperatura nocturna –estimado en 2 o 3 °C–. Comparados con otros tipos de dobles techos resultan más económicos, tanto por necesitar menos alambre para su sostén como por un menor coste de la mano de obra, pues es muy fácil colocarlos antes de plantar el cultivo. Sin embargo también presentan desventajas; el riesgo de condensación bajo el doble techo es alto y la gestión de la humedad relativa de la cámara inferior difícil, siendo necesario utilizar los pasillos del invernadero como elemento de ventilación, lo que a veces puede ser insuficiente o resultar muy laborioso. Además son difíciles de instalar con el cultivo desarrollado, hecho que limita su uso a ciclos tardíos, cuando las temperaturas máximas no son tan altas y no hay riesgo de golpes de calor al mediodía al inicio del cultivo.

Los dobles techos de «poniente a levante» suelen disponerse sobre cultivos de pepino tardío o extra-tardío –con o sin apoyo de calefacción– lo que corresponde a trasplantes de octubre y noviembre; en estos ciclos de pepino no existe apenas riesgo de choques térmicos en las primeras semanas de cultivo, por lo que el doble techo puede instalarse antes de implantar la plantación, aunque conforme aumente el porte del cultivo será necesario ventilar la cámara inferior, para evitar excesos de humedad y condensaciones bajo el doble techo. También pueden ser adecuados para plantaciones extra-tempranas de tomate y pepino en ciclos de primavera –trasplante de diciembre o primeros días de enero–, si bien en estos cultivos será necesario retirar el doble techo a finales del invierno para evitar temperaturas demasiado elevadas durante la primavera. Para el caso del pimiento de pri-

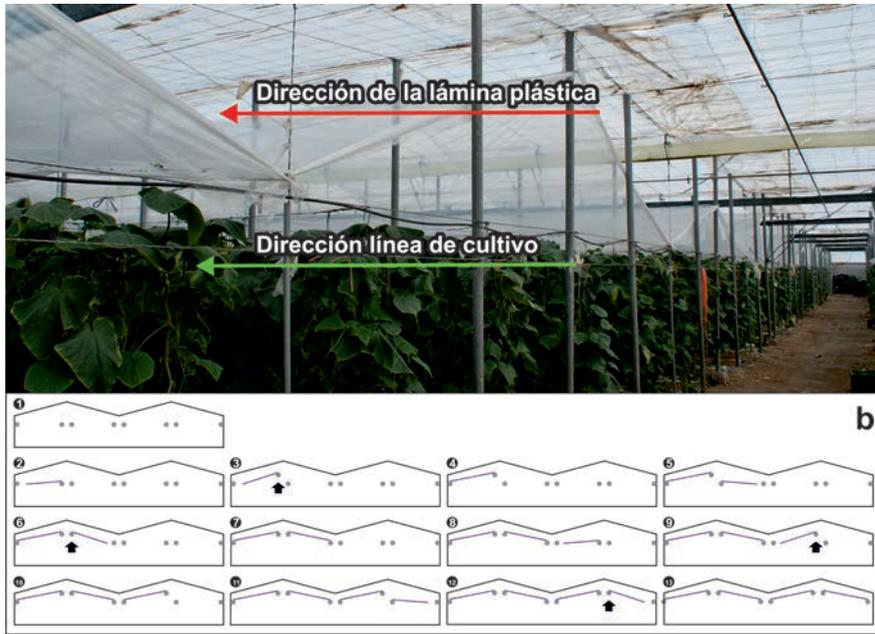
mavera, su utilización dependerá en gran medida de la fecha de plantación, pues en trasplantes de finales de octubre o primeros de noviembre las temperaturas aún pueden ser elevadas y es necesario blanquear ligeramente el invernadero, lo que impide colocar el doble techo antes del establecimiento del cultivo, so pena de eliminar el blanqueo con el doble techo ya instalado, lo que provocaría la acumulación de suciedad en la lámina plástica y la consiguiente pérdida de luz.

## **5.2. Dobles techos de «norte a sur»**

El doble techo de «norte a sur» es menos habitual, pero su uso se está extendiendo en los ciclos medios de pepino e incluso para ciclos tardíos en zonas más benignas o en fincas muy húmedas. En este caso las láminas de plástico se disponen de forma paralela a las líneas de cultivo; la anchura de las láminas plásticas ha de ser la mitad del ancho de las capillas del invernadero, y cada lámina se inclina para que las capillas del doble techo tengan la misma anchura que las capillas del invernadero.

Aunque podemos hermetizarlo –si unimos las láminas de plástico con lañas de alambre dulce– no es necesario hacerlo, pues las uniones de las láminas se sitúan sobre áreas sin cultivo y el agua de goteo y de la lluvia se evacua directamente al suelo. Por ello normalmente las láminas de plástico se dejan sin unir, resultando un doble techo con aperturas en todas las «raspas» y en todos los «amagados» que permite una excelente ventilación de la cámara inferior, aunque evidentemente a costa de un menor rendimiento térmico. Esta excelente ventilación permite cubrir los pasillos del invernadero, pues ahora no son necesarios para la ventilación de la cámara inferior. La disposición de las tiras plásticas en los dobles techos de «norte a sur» –paralela a las líneas de cultivo– permite colocarlo en el invernadero con el cultivo ya desarrollado, pues no es necesario cruzar las líneas de cultivo para extender las tiras plásticas. Por ello es muy utilizado en ciclos de pepino medio (plantación de septiembre) comenzando el cultivo sin doble techo y colocándolo a finales de octubre o primeros de noviembre, evitando de esta manera los choques térmicos a mediodía durante los meses de más calor.

### Imagen 9. Doble techo de «norte a sur»



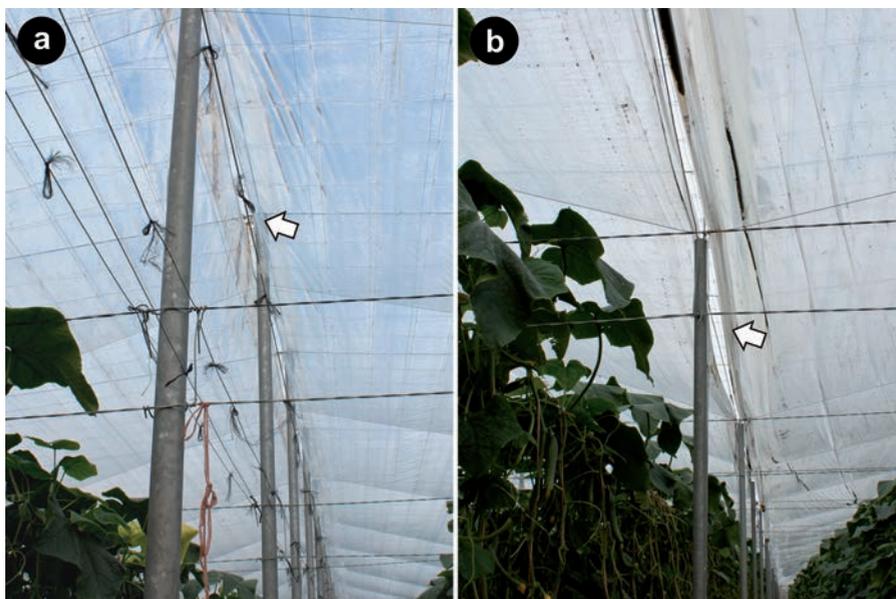
Las láminas de plástico se disponen paralelas a la línea de cultivo.

Esquema de la disposición de un doble techo de «norte a sur» b): b.1) Se disponen alambres en la dirección de las líneas de cultivo, dos fijos bajo el «amagado» y dos libres bajo las «raspas», cuidando de que cada uno de los dos alambres quede a uno de los lados del palo o del tirante; b.2) las tiras plásticas se extienden paralelas a estos alambres, fijándolas primero al alambre libre bajo la «raspa» y b.3) el alambre libre se eleva hasta su posición definitiva; b.4) el otro extremo de la lámina plástica se fija al alambre fijo bajo el «amagado» dándole la tensión necesaria; b.5 a b.13) el proceso se repite para cada media capilla del doble techo hasta completarlo totalmente, quedando abierto en las «raspas» y en los «amagados».

Para disponerlo se colocan dos alambres fijos bajo cada «amagado» y dos alambres libres bajo cada «raspa» del invernadero –todos paralelos a la dirección en la que irán las líneas de cultivo–, cuidando de que tanto en la «raspa» como en el amagado cada uno de los dos alambres quede en uno de los lados del palo o del tirante. Las láminas plásticas se extienden paralelamente a estos alambres, y –una vez que la tira plástica está extendida–, se fijan en primer lugar al alambre de la «raspa» mediante lañas de alambre dulce; una vez unida a él, el alambre de la «raspa» se eleva a su posición definitiva mediante cuerdas o apoyándolo en ganchos metálicos dispuestos anteriormente para tal fin. Posteriormente la lámina plástica se fija al alambre fijo del «amagado», añadiendo la tensión suficiente para que

pueda evacuarse el agua de la lluvia y el goteo sin formar bolsones, repitiendo la faena para cada media capilla del doble techo. También es posible, si se aplica la tensión adecuada, unir la lámina plástica a ambos alambres –fijo y libre– antes de elevar el alambre libre a su posición inicial, aunque se corre el riesgo de aplicar una sobretensión que desgarrare la lámina plástica. En invernaderos altos o con cultivos ya muy desarrollados –en los que la planta ha superado el emparrillado– la faena de extender las láminas de plástico puede ser engorrosa e incluso dañar la zona superior del cultivo; para estos casos se ha de disponer una estructura fija de alambre que sirva de sostén a las láminas plásticas y facilite su extensión, similar a la descrita en las imágenes 12 y 13.

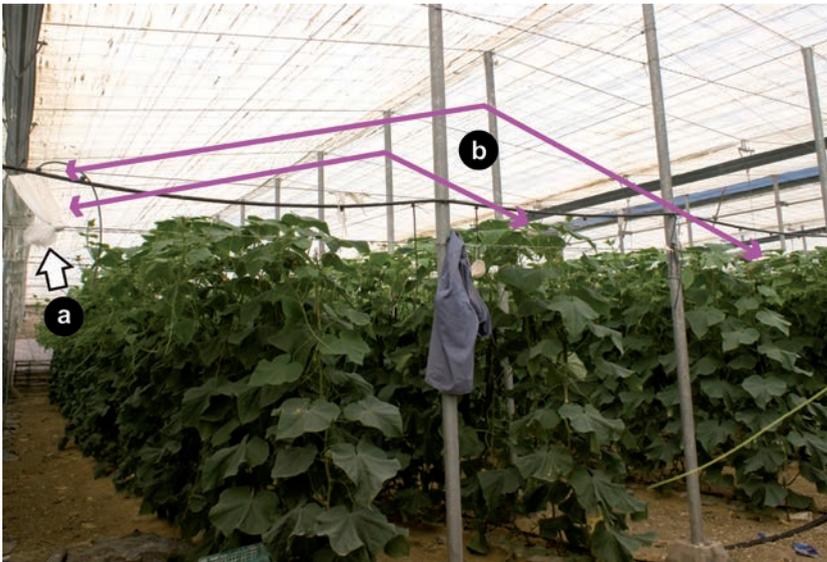
**Imagen 10. Detalle de las aperturas entre las láminas plásticas en un doble techo de «norte a sur»**



**Imagen 11. Pasillos del invernadero cubiertos por un doble techo de «norte a sur»**

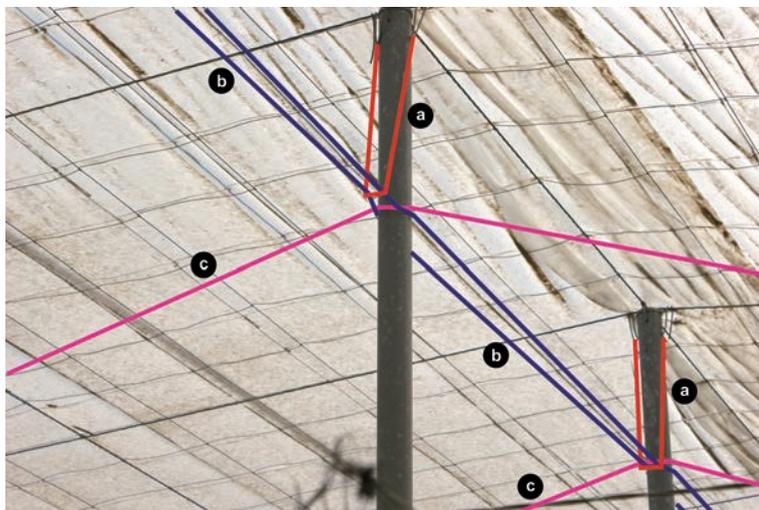


**Imagen 12. Cultivo muy desarrollado sobre el que se va a colocar un doble techo de «norte a sur»**



*a) Las láminas plásticas se colocan recogidas bajo las canaletas de evacuación de pluviales, evitando así que se ensucie. b) Estructura fija de alambre sobre la que se extenderán las láminas (La foto se ha tomado en el mismo cultivo que aparece en la Imágenes 9 y 10).*

**Imagen 13: Detalle de la estructura de alambre fija utilizada para extender un doble techo de «norte a sur» con el cultivo ya desarrollado**



*Unas horquillas de alambre en las cumbres (a, marcadas en rojo) sostienen unos alambres dispuestos en la dirección de la línea de cultivo (b, marcados en azul) que a su vez sostienen alambres dispuestos perpendicularmente a la línea de cultivo (c, marcado en magenta). Es este último juego de alambres el que sostendrá la lámina plástica y el que permite su extensión sin provocar daños en el cultivo.*

Los dobles techos de «norte a sur» tienen como principal ventaja la alta ventilación de la cámara inferior, lo que reduce al mínimo los problemas de condensación bajo el doble techo y evita tener que usar los pasillos del invernadero como elemento de ventilación. También es posible colocarlos con el cultivo ya desarrollado, pudiéndose retrasar el montaje y evitar los golpes de calor a medio día. Sin embargo su eficiencia térmica es menor, así que el aumento en la temperatura mínima nocturna conseguido bajo ellos es más modesto que en los dobles techos de «poniente a levante», estimándose en apenas 1 o 2 °C, lo que sin duda constituye su principal desventaja.

Sin duda el cultivo donde más se utilizan es el pepino en ciclos medios, pues permite trasplantar con un ligero blanqueo que evite los choques térmicos y disponer el doble techo cuando se elimina el sombreado y comienzan los problemas de condensación y goteo de la cubierta, añadiendo además cierto efecto térmico que ayuda a mejorar las mínimas nocturnas. Sin embargo, también puede adaptarse a cualquier cultivo o ciclo en el que se necesite trasplantar con el invernadero blanqueado y disponer un doble techo con cierto efecto térmico una vez se elimine el sombreado.

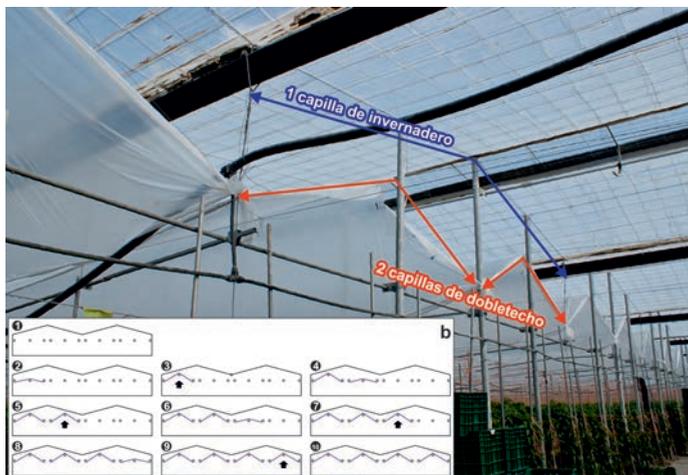
### 5.3. Dobles techos estrechos de «norte a sur»

Si bien el pepino es el cultivo donde más se utilizan los dobles techos, desde hace algunos años se está colocando sobre otros cultivos una modificación del doble techo de «norte a sur». Se trata del *doble techo estrecho de «norte a sur»* donde las láminas se disponen también en dirección paralela al cultivo, pero formando dos capillas de doble techo por cada capilla de invernadero.

Para disponerlo se colocan dos alambres fijos bajo cada «amagado», dos alambres fijos bajo cada «raspa» y un alambre libre en el centro de cada media capilla del invernadero –todos ellos paralelos a la dirección en la que irán las líneas de cultivo–, cuidando de que tanto en la «raspa» como en el amagado cada uno de los dos alambres quede en uno de los lados del palo o del tirante. Las láminas plásticas se extienden paralelamente a estos alambres, cuidando de que la lámina quede por encima del alambre libre. Posteriormente la lámina plástica se fija a los alambres fijos del «amagado» y de la «raspa», y el alambre libre situado en el centro de la media capilla se fija en su posición definitiva mediante cuerdas, añadiendo la tensión suficiente para formar cada una de las capillas del doble techo.

Con este sistema se deja una separación muy grande entre las láminas plásticas –variable según el marco de plantación del cultivo–, al tiempo que se da una pendiente muy importante a las capillas del doble techo. Se consigue así un doble techo –muy ventilado y sin riesgo de condensación– bajo el que apenas se logra aumentar la temperatura mínima, pero que actúa como un paraguas sobre el cultivo, manteniéndolo inaccesible para el goteo de la cubierta y el agua de lluvia. Estas características lo hacen muy interesante en cultivos con grandes necesidades de ventilación –como pimiento, tomate o berenjena en ciclos de otoño– para mantener la planta seca y prevenir enfermedades y fisiopatías.

**Imagen 14. Doble techo estrecho de «norte a sur» colocado sobre un cultivo de pimiento de otoño**



Esquema de la disposición de un doble techo estrecho de «norte a sur» b): b.1) se disponen alambres en la dirección de las líneas de cultivo, dos fijos bajo el «amagado», dos fijos bajo las «raspas», cuidando de que cada uno de los dos alambres quede a uno de los lados del palo o del tirante, y uno libre bajo el centro de cada media capilla; b.2) las tiras plásticas se extienden paralelas a estos alambres, fijándolas a los alambres fijos bajo el «amagado» y la «raspa», cuidando de pasar la lámina plástica por encima del alambre libre bajo el centro de la media capilla y b3) el alambre libre se eleva hasta su posición definitiva dando tensión y formando una capilla de doble techo; b4 a b10) el proceso se repite para cada capilla de doble techo hasta completarlo totalmente, quedando abierto en los «amagados».

**Imagen 15. Doble techo estrecho de «norte a sur» dispuesto sobre un cultivo de tomate de otoño**



*Nótese la gran separación existente entre las láminas plásticas.*

**Imagen 16. Cultivo de tomate de primavera extra-temprano en un invernadero plano y bajo, donde se ha colocado un doble techo estrecho de «norte a sur»**



*El doble techo se mantuvo hermético durante los dos primeros meses, separando después las láminas plásticas para aumentar la ventilación al tiempo que se evitaba la lluvia y el goteo sobre el cultivo.*

**Imagen 17. Cultivo de pimiento de primavera extra-temprano, trasplantado en la última semana de octubre, sobre el que se ha dispuesto un doble techo estrecho de «norte a sur» hermetizándolo en los «amagados» uniendo los alambres fijos con lañas de alambre dulce**



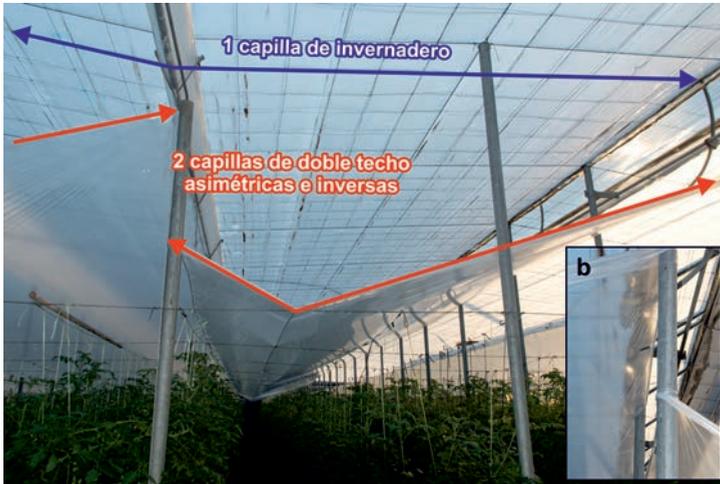
*Cuando el cultivo esté más desarrollado se abrirán los amagados, soltando las lañas de alambre dulce, para aumentar la ventilación de la cámara inferior.*

Otra ventaja de este tipo de doble techo es su adaptabilidad a invernaderos planos y bajos. Además, es posible hermetizarlo al inicio del cultivo –uniendo con lañas de alambre las tiras plásticas– ganando así efecto térmico, para después –una vez pasada la época más fría– retirar las lañas, separar las capillas y aumentar la ventilación manteniendo el cultivo protegido del goteo. Así, en el cultivo de tomate de la Imagen 15 –plantado el 15 de noviembre del 2011 en un invernadero plano y bajo– se colocó un doble techo estrecho de «norte a sur», hermetizándolo durante los 2 primeros meses de cultivo para aumentar la temperatura mínima nocturna. Cuando pasaron los meses más fríos –teniendo la planta ya un porte considerable– se separaron las capillas del doble techo para permitir la ventilación, al tiempo que se mantenía el cultivo a salvo de la lluvia y el goteo. Esta misma solución puede aplicarse a cultivos de pimiento de primavera extra-tempranos, que pueden ser trasplantados con un ligero blanqueo en la cubierta, disponiendo el doble techo cuando se ha eliminado el sombreo –hermetizándolo uniendo las tiras plásticas en los «amagados»– y aumentando la ventilación más adelante separando las tiras plásticas, tal y como ilustra la Imagen 17, correspondiente a un pimiento de primavera trasplantado el 29 de octubre de 2014.

#### **5.4. Dobles techos asimétricos e inversos**

En aquellas situaciones donde se quiera evitar el goteo sobre el cultivo sin restringir en absoluto la ventilación de la cámara inferior resulta muy útil este tipo de doble techo. Está basado en un doble techo de «norte a sur» en el que todas las capillas se inclinan en la misma dirección, ignorando la geometría de la cubierta del invernadero. También es conveniente añadir un tercer alambre para alejar la evacuación del agua procedente del goteo de la cubierta de las plantas –tal y como muestra la Imagen 18– lo que le daría un aspecto de doble techo inverso; en este caso los alambres a los que se fijan las láminas plásticas están situados en el lado contrario del palo, para evitar zonas muertas por donde el agua de goteo de la cubierta pudiera acceder al cultivo.

**Imagen 18. Doble techo asimétrico e inverso instalado sobre un cultivo de tomate de ciclo largo**



*b) Detalle de como los alambres se disponen por el lado contrario del palo o del tirante, para evitar la aparición de zonas muertas por donde el goteo de la cubierta puede caer sobre el cultivo.*

**Imagen 19. Doble techo asimétrico e inverso instalado sobre un cultivo de tomate de ciclo largo**



*Nótese la elevada separación de las láminas plásticas en este tipo de doble techo, lo que permite una excelente ventilación, evitando el goteo de la cubierta sobre el cultivo y eliminando totalmente el riesgo de condensación en la cámara inferior.*

Como puede verse en la Imagen 19, la separación entre las láminas plásticas en estos dobles techos es muy elevada –sin que existan zonas muertas en la lámina plástica donde el goteo pueda caer sobre el cultivo– al tiempo que no existe ninguna zona de la cámara inferior donde la ventilación esté limitada, sin ningún elemento que dificulte la subida del aire de la cámara inferior a la superior e incluso su salida al exterior por las ventanas cenitales; esto elimina cualquier riesgo de condensación en la cámara inferior, aunque a costa de impedir cualquier incremento de las temperaturas mínimas nocturnas. Aunque a primera vista podría parecer una inversión inútil, no es así; estos dobles techos protegen muy eficazmente del goteo al cultivo, al tiempo que maximizan la ventilación de la cámara inferior, esto nos permite limitar muchísimo la ventilación del invernadero y trabajar a humedades relativas altas al tiempo que mantenemos seco el cultivo, por lo que la energía acumulada por el invernadero en forma de calor latente es muy alta, con un riesgo mínimo de aparición de enfermedades fúngicas. Por ello, es el doble techo más indicado en cultivos ecológicos o en cultivos de tomate de ciclo largo –sometidos a deshojados continuos–, pues en ambas situaciones se necesita a toda costa mantener seco al cultivo para prevenir problemas fúngicos.

## 6. Dobles techos móviles

La colocación de un doble techo fijo es siempre una solución de compromiso entre las necesidades de aumentar la temperatura nocturna y de mantener una ventilación suficiente. Por otra parte, aunque un doble techo fijo protege el cultivo del goteo de la cubierta y de la lluvia, durante el invierno no siempre se dan estas condiciones en nuestros invernaderos, y a fin de cuentas este elemento también supone –por ligero que sea– un sombreado añadido al cultivo justo en la época del año en la que el factor luz es más limitante. Además, en determinados momentos la ventilación de la cámara inferior resulta insuficiente para controlar las temperaturas diurnas, que pueden resultar demasiado elevadas bajo el doble techo. Es evidente que sería muy interesante el desarrollo de un sistema de doble techo que nos permitiera abrirlo y cerrarlo –o incluso plegarlo y desplegarlo– a voluntad; y aún lo sería más si consiguiéramos integrarlo en un sistema informático junto con el resto de elementos de control del clima del invernadero. No es una tarea fácil, pero algunos agricultores han desarrollado las primeras aproximaciones a lo que sería un doble techo móvil, algunas de las cuales expongo a continuación.

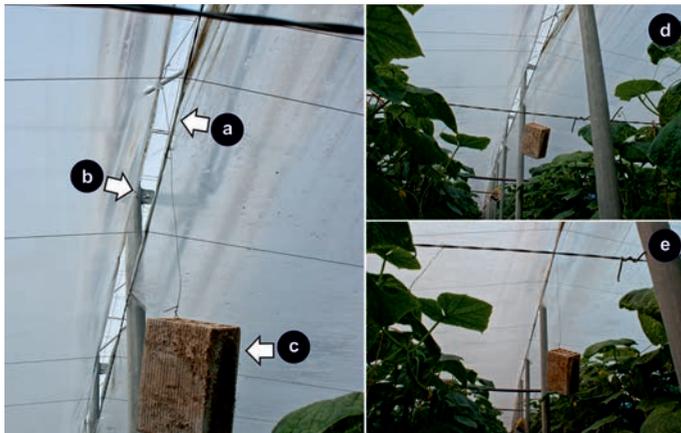
### 6.1. Doble techo abierto-cerrado en cumbresas sincronizado con la ventilación

Desarrollado por Andrés García (Técnico de Multinatura SL), es un sistema muy simple y económico creado a partir de un doble techo de «norte a sur» en el que se han realizado las siguientes modificaciones en la cumbre –o raspa– del doble techo:

- Una de las láminas plásticas se puntea con lañas a un alambre fijo sujetado al otro lado del apoyo de la raspa (tira fija).
- La otra lámina plástica se puntea a un alambre móvil unido mediante otros alambres a las cremalleras que actúan sobre las ventanas cenitales (tira móvil).
- En el alambre de la tira móvil se colocan contrapesos cada 8 o 10 m.

El funcionamiento del doble techo es simple: cuando se inicia el periodo de ventilación comienzan a abrirse las ventanas cenitales, las cremalleras tiran hacia arriba del alambre móvil y la cumbre del doble techo se abre; cuando las ventanas se cierran los contrapesos tiran hacia abajo del alambre móvil y la cumbre del doble techo se cierra. De esta manera se tiene un doble techo abierto durante el día y cerrado durante la noche.

#### Imagen 20. Detalle de la cumbre del doble techo abierto-cerrado en cumbresas sincronizado con la ventilación



*a) Alambre fijo sujeto al otro lado del apoyo de la raspa al que se asegura la tira fija; b) alambre móvil, unido mediante otros a las cremalleras que mueven las ventanas cenitales, al que se fija la tira móvil y c) contrapesos unidos al alambre móvil.*

A pesar de su simplicidad y de resultar muy económico, este sistema presenta varios problemas, lo que limita su uso a invernaderos que reúnan una serie de características muy específicas. Su apertura depende de las ventanas cenitales, por lo que es obligatorio disponer de ellas en todas las capillas. Del mismo modo, cuando las ventanas no se abren –como es el caso de días lluviosos o con fuertes vientos– el doble techo también permanecerá cerrado, con el consiguiente riesgo de excesos de temperatura y humedad relativa. Además para que ventile correctamente la cámara inferior necesita mucho *efecto chimenea*, por lo que solo puede utilizarse en invernaderos muy altos –que permitan dar una gran altura a la cámara inferior– o con apoyo de calefacción.

## 6.2. Doble techo enrollable

Desarrollado por Semilleros Loteplant S.L., está basado en un sistema muy similar al de los toldos plegables en el que el sistema de enrollado –en vez de permanecer fijo– se desplaza a lo largo de unas guías metálicas soldadas a la estructura del invernadero con este fin. De esta manera se consigue plegar y desplegar el doble techo a voluntad, dejando la cámara inferior más o menos abierta durante el día –según la intensidad del goteo de la cubierta y las necesidades de luz y ventilación del cultivo– y completamente cerrada durante la noche.

### Imagen 21. Doble techo enrollable



a) Calle desplegada, b) calle plegada –tanto en una como en otra pueden verse las barras metálicas que sirven de guía y sostén al sistema de enrollado y d) detalle del sistema de enrollado.

A pesar de su eficacia el sistema presenta algunos inconvenientes importantes. El principal es sin duda la dificultad de automatización; el sistema de enrollado requiere actuar sobre cada vertiente de cada una de las capillas del doble techo para lo que sería necesario un número ingente de motores. Esto obliga a plegar manualmente cada capilla del doble techo, y aunque desde un solo punto se puede plegar o desplegar una lámina de 70 metros en apenas 30 segundos –con la ayuda de un taladro eléctrico–, es evidente que resultaría una faena laboriosa en grandes superficies de cultivo. Por otra parte, el esfuerzo que debe soportar la lámina de plástico al ser plegada obliga a utilizar plásticos antigoteo más gruesos (de unas 250 galgas) y por tanto más opacos que los utilizados en los dobles techos fijos. Otro factor a considerar es el precio; las guías metálicas y el sistema de enrollado suponen una inversión de 1,2 € m<sup>-2</sup> y los costes de instalación de la lámina plástica son también más altos que los de un doble techo fijo, tanto por el mayor grosor del plástico utilizado como por la mano de obra extra necesaria para su colocación.