

MATERIALES DE CUBIERTA PARA INVERNADEROS

*Enrique Espí
Centro de tecnología Repsol*

RESUMEN

En este capítulo se resumen las principales propiedades que puede ofrecer un material de cubierta, especialmente los filmes plásticos flexibles, y cómo éstas pueden ayudar al correcto manejo del invernadero optimizando su productividad y rendimiento económico. Se describen las propiedades ópticas del mismo (transmisión de la radiación PAR, ultravioleta, infrarroja próxima o lejana, la difusión, la luminiscencia), sus propiedades superficiales (antigoteo o antipolvo) y más brevemente otras como la duración. Así mismo, y sin pretender ser un manual exhaustivo ni sustituir al consejo de un experto, se dan algunas recomendaciones para la correcta elección del material de cubierta.

SUMMARY

In this chapter we have summarized the main properties of materials for greenhouse covering, specially flexible plastic films, and how they can help to the a good greenhouse management, optimizing both yield and economic profit. Optical properties (PAR, ultraviolet, and near and middle infrared transmission, light diffusion and luminescence), surface properties (antifog and antidust effects), and duration are described. Not being a handbook nor trying to replace the expert assessment, some recommendations about the correct choice and use of covering materials are provided.

1. Introducción

El material de cubierta del invernadero influye en algunas de las variables que más afectan al cultivo como luz, temperatura o humedad y debe ser cuidadosamente elegido junto a la estructura para ayudar al manejo y optimizar el rendimiento del invernadero (Castilla, 2004 y Catilla y Hernández, 2005). Entre los posibles materiales de cubierta, los materiales plásticos, especialmente los filmes flexibles, son los que ofrecen una variedad más amplia de propiedades y el mejor balance coste / propiedades. En este capítulo se repasan las propiedades ópticas, térmicas y superficiales que pueden tener los materiales de cubierta y su relación con las variables ambientales del invernadero.

2. Materiales plásticos

Los materiales plásticos empleados como cubiertas de invernadero se pueden clasificar en filmes flexibles, placas rígidas y mallas, aunque el empleo de los primeros supera con mucho a las otras dos opciones (Díaz *et al.*, 2001).

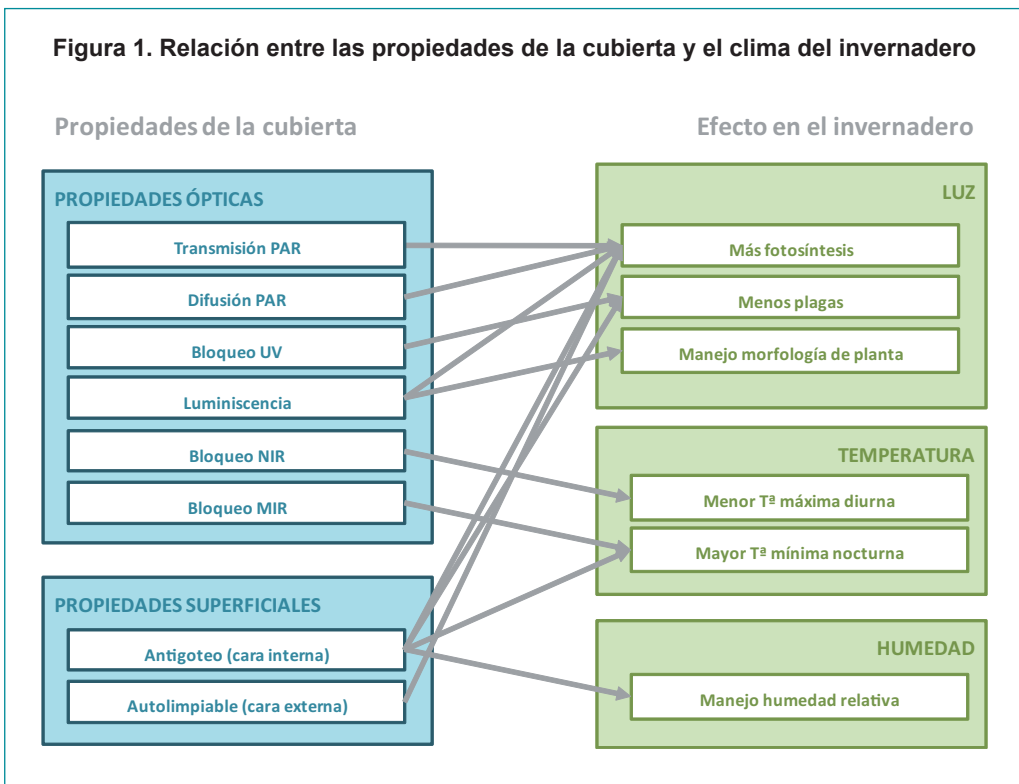
Los filmes plásticos utilizados para cubierta de invernadero habitualmente tienen espesores comprendidos entre 80 y 220 micrómetros y anchos de hasta 20 metros. En mercados avanzados se pueden encontrar filmes monocapa y tricapa. Respecto a los polímeros utilizados, el polietileno de baja densidad (LDPE), y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) y acrilato de butilo (EBA) representan más del 80 % del mercado mundial, el cual incluye también PVC en Japón y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) en el resto del mundo.

Fue a partir de los años 40, pero sobre todo de los 70, que se empezó a desarrollar la aplicación del polietileno y sus copolímeros para cubierta de invernadero (Garnaud, 2000). El material idóneo para esta aplicación debe ser, además de conformable en forma de película, fotoestable, para mantener sus propiedades durante largos tiempos de exposición al sol; transparente a la radiación visible, para permitir a la planta realizar la fotosíntesis; opaco a la radiación infrarroja, para evitar la pérdida de calor por radiación durante la noche, e hidrófilo, para evitar la condensación de agua en forma de gotitas.

Uno podría pensar que el polietileno o sus copolímeros tienen todas estas propiedades, por lo que son adecuados para la aplicación. Pues, bien al contrario, el polietileno es poco fotoestable, muy transparente a la radiación infrarroja, hidrófobo y no especialmente transparente al visible. Las únicas propiedades en las que destaca frente a otros materiales poliméricos son que puede ser transformado por extrusión-soplado en filmes de grandes anchos y espesores considerables y que es relativamente barato.

¿Por qué se utiliza entonces el LDPE para la fabricación de filmes agrícolas? Porque todas las propiedades que le faltan pueden ser aportadas por medio de aditivos: los estabilizantes a la luz lo hacen fotoestable, las cargas minerales lo hacen opaco al infrarrojo, los surfactantes lo hacen hidrófilo, etc. Por tanto, un compuesto de polietileno con los aditivos adecuados puede ser el material idóneo para la fabricación de filmes agrícolas.

Figura 1. Relación entre las propiedades de la cubierta y el clima del invernadero

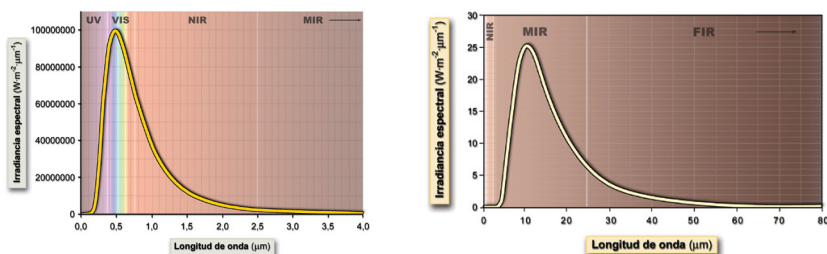


Sin embargo, la elaboración de una aditivación correcta no es un asunto trivial. Las distintas condiciones climáticas y ambientales en las que se va a utilizar la película, el tipo de cultivo, la estructura del invernadero, las incompatibilidades y sinergias entre distintos aditivos, etc. hacen necesario un considerable esfuerzo tecnológico para poder ofrecer una gama de compuestos agrícolas competitiva. Se trata, por tanto, de un negocio de *especialidades* y la elección de la cubierta adecuada requiere conocer la relación entre las propiedades del material y las variables del invernadero que más afectan al cultivo: luz, temperatura y humedad.

3. Los materiales de cubierta y la luz

A continuación revisaremos las diferentes zonas en las que se dividen las radiaciones solar y terrestre y los distintos efectos que se pueden conseguir en cada una de ellas y sobre los cultivos mediante el empleo de filmes plásticos como abrigos agrícolas. El resultado que se obtenga dependerá de la región del espectro sobre la que actúen. Aunque aquí se traten separadamente para simplificar su explicación, en la realidad es frecuente que un material de cubierta incorpore simultáneamente varios efectos (por ejemplo, un filme térmico difusor antiplagas).

Figura 2. Zonas del espectro solar (izquierda) y terrestre (derecha) a tener en cuenta en el manejo de la cubierta y el invernadero



Con respecto al manejo de la luz es importante considerar, además del fenómeno de absorción o bloqueo de determinadas longitudes de onda, otros fenómenos físicos como la difusión o dispersión de los rayos solares, que provoca una desviación de los mismos en todas las direcciones, o la luminiscencia que es la transformación de radiación de una determinada longitud de onda en otra de longitud superior, por ejemplo, de verde a roja.

La radiación PAR. La banda visible (VIS) se sitúa entre 0,38 y 0,76 micras de longitud de onda. Se denomina así por motivos obvios: de todo el espectro electro-magnético, el ojo humano sólo es capaz de ver la radiación cuyas longitudes de onda están dentro de ese intervalo. El subintervalo comprendido entre 0,4 y 0,7 micras, que supone aproximadamente un 50 % de la radiación solar recibida por la planta, es la que utilizan los cultivos para llevar a cabo el fenómeno de la fotosíntesis. Por ese motivo, dicha radiación se denomina radiación fotosintéticamente activa (PAR, de las palabras inglesas *Photosynthetically Active Radiation*).

Una pequeña fracción de toda la energía luminosa que llega a la planta es absorbida por el cultivo y directamente utilizada en el proceso de fotosíntesis. La restante se transforma en calor y contribuye, junto a la energía sin acción biológica directa, al calentamiento de la planta (calor sensible) y a la transpiración (calor latente). La baja intensidad luminosa es el factor ambiental más limitante para la fotosíntesis y el desarrollo máximo de los cultivos, sobre todo en determinadas latitudes y especialmente en condiciones de invernadero en los meses de invierno, por lo que siempre se debe elegir el material de cubierta que aporte una mayor transmisión en esta zona de radiación, salvo que exista otro factor que aconseje limitarla (por ejemplo, exceso de temperatura).

Filmes claros y difusores. La intensidad de la radiación solar en el interior de un invernadero cubierto por un filme plástico es siempre menor que la que hay en el exterior debido a la reflexión y absorción del material de cerramiento, que dependen del tipo, espesor, grado de limpieza (polvo o algas), condensación de agua y estado de degradación del plástico usado, así como de la orientación y forma de la cubierta, de la época del año y del resto de los elementos que configuran el invernadero (estructura, tutorado, mallas, canales de pluviales, etc.). La pérdida de transmisión debida al filme se puede estimar entre un 5 y un 40 % en función de los distintos puntos comentados.

Por todo lo anterior, es evidente que el requerimiento general que deben cumplir los filmes plásticos para aplicaciones agrícolas es permitir la máxima transmisión global de luz visible en la zona PAR (TGLV) durante toda su vida útil. Las normas ISO 13468-2 y ASTM D 1003 sirven para medir cuál es la transmisión luminosa de los filmes, tanto la global o TGLV como la difusa, que es la que se desvía más de $2,5^\circ$ respecto a la dirección del haz de luz incidente. El porcentaje de ésta última sobre la global se denomina turbidez (*haze*). Estos conceptos son muy importantes y a veces plantean cierta confusión, especialmente cuando no se miden con equipos apropiados y se confía en la observación visual. A continuación se da una serie de definiciones y ejemplos para tratar de aclararlos:

- Un filme agrícola claro es aquél a través del cual pueden verse los objetos nítidamente. Por ejemplo, estos podrían ser los cultivos, si es que se mira desde fuera de un invernadero hacia dentro.
- Un filme agrícola difusor es el que deja pasar la luz pero no deja ver nítidamente los objetos que hay al otro lado. Se le llama así por su efecto de difundir la luz, es decir, de transformar los rayos procedentes de un foco luminoso como es el Sol en luz que se propaga en todas las direcciones. Otra forma de denominar este tipo de filmes es con la palabra turbio, de ahí el concepto de turbidez mencionado arriba. Un filme se considera difusor cuando su turbidez es igual o superior al 30 % para espesores entre 70 y 150 micras y al 35% para espesores iguales o superiores a 150 micras (EN 13206).

Los filmes difusores se preparan añadiendo en la formulación aditivos inorgánicos, térmicos o no, compuestos por partículas microscópicas que hacen que la luz choque contra ellas y se desvíe de la dirección incidente hacia todas las direcciones. Debido a su aspecto blanquecino o lechoso puede parecer a simple vista que la TGLV es inferior. Sin embargo, si se mide, se puede observar que, según sea la composición, ésta puede ser realmente inferior, igual o incluso superior a la de un filme claro de las mismas características. Simplemente disminuye la componente directa frente a la difusa en el total de la luz transmitida.

En zonas de clima mediterráneo (poca nubosidad, alta irradiación y escasez de lluvia) se recomienda emplear filmes difusores, debido a que la transmisión de luz no es excesivamente limitante y evitan sombras dentro del invernadero y quemaduras en

las plantas. En climas más húmedos se prefieren filmes lo más claros posible ya que, en este caso, el factor limitante suele ser la transmisión de luz, la turbidez del filme no es necesaria puesto que la componente mayoritaria de la radiación global es ya difusa por la nubosidad.

La acumulación de polvo: filmes autolimpiables. La utilización de materiales de cubierta en base a copolímeros EVA o EBA puede conllevar una mayor acumulación de polvo respecto al LDPE, especialmente si se utilizan filmes monocapa en latitudes mediterráneas como el sudeste español, con poca lluvia y zonas desérticas y arenosas próximas. Este hecho provoca una pérdida progresiva de transmisión de luz a lo largo de la vida útil de la cubierta, que será proporcional al polvo que se vaya depositando. La cantidad de polvo se hace máxima en los veranos que es cuando la pluviometría es mínima y disminuye en los otoños e inviernos por el lavado de la lluvia.

En la actualidad se están introduciendo en el mercado materiales para cubierta de invernadero con propiedades autolimpiables mediante la modificación del ángulo de contacto que el agua forma sobre la superficie, presentando lo que se conoce como “efecto *Loto*” o “autolimpiante”. El desarrollo de superficies sintéticas autolimpiantes se basa en la particular estructura de la superficie de las hojas de la planta de loto (*Nelumbo nucifera*), que es una combinación de dos estructuras rugosas, una en la microescala y otra en la nanoescala. La primera está formada por células superficiales que forman protuberancias, mientras que la segunda está formada por nanocristales de ceras que recubren la superficie de esas células. Esta estructura imparte a la superficie características superhidrofóbicas, haciendo que el ángulo de contacto de las gotas de agua sea mayor de 150° facilitando así que las gotas de agua rueden sobre las hojas arrastrando cualquier partícula de suciedad.



Figura 3. Efecto autolimpiable de la hoja de loto (*Nelumbo nucifera*)

Modificación de la radiación PAR: filmes luminiscentes. Los llamados filmes fluorescentes modifican la calidad de la luz solar, en cuanto a su distribución espectral, en la parte ultravioleta y visible del espectro, absorbiendo longitudes de onda poco útiles para la planta (ultravioleta y verde) y emitiéndola en otras más aprovechables para la fotosíntesis (azul y roja) con lo que se conseguirían aumentos de producción y mejora de la calidad de la cosecha. Hasta ahora se ha observado que los efectos de este tipo de cubiertas no son universales sobre todos los cultivos, sino que tanto la producción, como la morfología de los cultivos (longitud de tallo, número de flores, etc.) dependen del tipo de cultivo, incluso de la variedad cultivada. Por tanto, será necesario más trabajo de desarrollo y adaptación de las características de emisión de estas cubiertas a cultivos y zonas específicos.

La luz solar con longitudes de onda entre 400 y 700 nm es necesaria para la fotosíntesis y también actúa como portadora de información sobre las condiciones ambientales del entorno. Los fotorreceptores (fitocromo, fotorreceptores UV-azules...) de la planta detectan cambios en la composición de la luz y la planta reacciona a éstos cambios con una respuesta fotomorfogénica. La fotomorfogénesis es el proceso que determina la forma, el color y la floración de plantas. Las longitudes de onda entre 300 y 800 nm, y especialmente la relación 600-700/700-800 nm, es decir el cociente rojo/rojo lejano o R/FR) son importantes para este proceso. Se ha invertido mucho esfuerzo en desarrollar nuevas cubiertas para invernadero con las propiedades ópticas adecuadas para optimizar el crecimiento vegetal y el desarrollo. Los nuevos plásticos agrícolas que contienen pigmentos fluorescentes pueden convertir la radiación ultravioleta en luz azul o roja (películas descoloridas) o radiación verde en luz roja (películas coloreadas naranja-rojas). Los parámetros más importantes para este tipo de filmes son la transmisión de luz total, la distribución espectral, el efecto fluorescente y su fotoestabilidad. Existen filmes fluorescentes comerciales en el mercado pero su precio y los efectos morfogenéticos positivos o negativos dependiendo de la cosecha han limitado su uso.

Transmisión de luz y condensación de agua: los filmes antigoteo. Los filmes antigoteo están modificados superficialmente para aumentar su higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) de forma que, al condensar el agua sobre ellos, lo haga en forma de lámina continua transparente y no de gotas aisladas. Aumentan la transmisión de luz visible hasta en un 30%, por lo que su efecto es en general positivo para el cultivo, reducen las enfermedades criptogámicas al reducir el goteo sobre las plantas y favorecen el bloqueo de la radiación infrarroja por lo que ayudan a reducir las pérdidas de calor nocturnas.

Para obtener filmes antigoteo basados en poliolefinas se utilizan surfactantes como ésteres de ácidos grasos y derivados del sorbitol o de la glicerina. El principal inconveniente de este tipo de materiales de cubierta es que el efecto antigoteo puede desaparecer al cabo de un tiempo debido a la extracción de estos surfactantes por el agua condensada, aunque en la actualidad ya existen en el mercado filmes plásticos cuya duración del efecto antigoteo es al menos la de la vida útil del propio material.

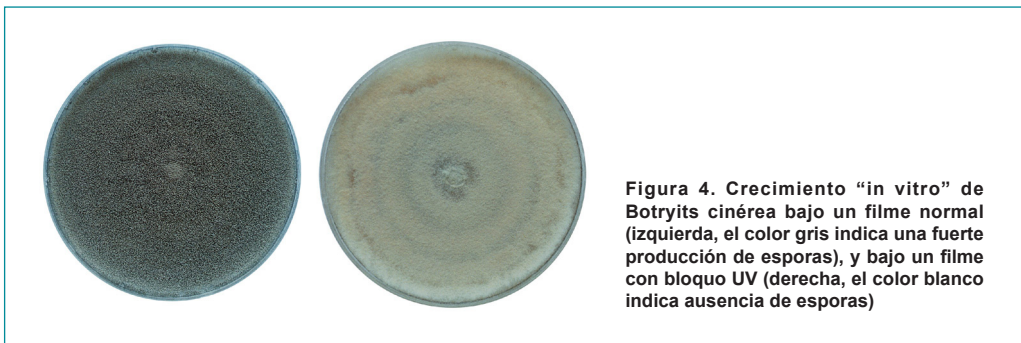
El uso de cubiertas antigoteo puede en ocasiones no estar recomendado, como en el caso de la estructura tipo parral, ya que la presencia de la malla de alambre interna, al estar en contacto con el plástico, provoca que por dichos alambres gotee el agua. Así, es fácil observar en invernaderos tipo parral con plásticos antigoteo cómo los cultivos se mojan más que en uno sin antigoteo. Este efecto es recomendable en estructuras de arco, donde los elementos en contacto con la cubierta son escasos.

La radiación UV: filmes antiplagas. Existen filmes especialmente opacos a la radiación ultravioleta que reducen la incidencia de algunas plagas: son los llamados filmes antiplagas, antibotritis, antibemisia.... En algunos casos se han reportado efectos adversos de estos materiales sobre los insectos polinizadores (abejorros y abejas), pero aun en estos casos puntuales, estos efectos son evitables con un correcto manejo de las colmenas y las ventajas por la reducción de plagas los compensan con creces.

Este tipo de filmes fotoselectivos basan su modo de acción en el bloqueo de la transmisión de radiación ultravioleta (290-380 nm) al interior del invernadero. Este proceso dificulta, ralentiza o disminuye el desarrollo de plagas o enfermedades causadas por hongos o por virus transmitidos por insectos que por algún motivo sean sensibles a la disminución o ausencia de este tipo de radiación. Los efectos sobre estos dos tipos de fitopatógenos son claramente diferenciables:

- Por un lado existen hongos fotosensibles que necesitan luz ultravioleta para producir esporas y reproducirse. El ejemplo más conocido es *Botrytis cinerea*, aunque existen otros como *Fusarium oxysporum*, etc. Los filmes fotoselectivos eliminan esta radiación de la luz ambiente del invernadero, con lo que impiden la reproducción de estos hongos y disminuyen las posibilidades de una plaga.

- Por otro lado, muchos virus causantes de enfermedades en los cultivos protegidos son transmitidos por insectos. Un ejemplo típico en los cultivos de tomate del sur de España es el virus de la cuchara (*Tomato Yellow Curl Leaf Virus*, TYCLV) que es transmitido por *Bemisia tabaci* (mosca blanca). Otro es el que afecta especialmente a los cultivos de pimiento, denominado virus del bronceado (*Tomato Spotted Wilt Tospovirus*, TSWV) del que es vector *Frankliniella occidentalis* (trips). Muchos de estos insectos tienen fotorreceptores sensibles al ultravioleta en sus órganos visuales. Un ambiente oscurecido en esas longitudes de onda no les resulta atractivo por lo que, o bien no entran al invernadero, o bien su movilidad se ve reducida, lo que provoca que su capacidad para causar virosis en los cultivos disminuya sensiblemente.



Las poliolefinas son por sí mismas transparentes a las longitudes de onda de interés para esta aplicación (300-350 nm). Sin embargo el bloqueo de la radiación ultravioleta no es tecnológicamente difícil, aunque también es conocida la tendencia de los absorbentes ultravioleta orgánicos a desaparecer con el tiempo, debido a la migración, dada su escasa compatibilidad con la matriz polimérica. En general, las películas comerciales habituales presentan una cierta opacidad inicial al ultravioleta (5 % de transmisión suele ser un valor habitual) que se pierde con el uso y desaparece prácticamente al cabo de un año de exposición en campo. En la actualidad es posible encontrar en el mercado filmes fotoselectivos que mantienen su opacidad ultravioleta por debajo del valor que se considera efectivo desde el punto de vista antiplagas, a lo largo de dos o tres campañas agrícolas (García *et al.*, 2004).

4. Los materiales de cubierta y la temperatura

La temperatura diurna y la radiación NIR. Junto con la estructura y otras formas de refrigeración, la correcta elección del material de cubierta puede ayudar a controlar las temperaturas diurnas excesivas en el invernadero en las zonas tropicales o desérticas que pueden sufrir problemas originados por este fenómeno prácticamente a lo largo de todo su ciclo productivo. Los filmes antitérmicos o *cool films* son filmes fotoselectivos que bloquean, en este caso, la radiación infrarroja cercana al visible del espectro solar, evitando el sobrecalentamiento diurno del invernadero y permitiendo cultivos en zonas tropicales o desérticas o en épocas calurosas en otras zonas, donde eran antieconómicos con otras tecnologías.

El espectro de la transmisión de un filme plástico se puede modificar en la zona del NIR usando materiales reflectantes (pigmentos metálicos), materiales absorbedores y pigmentos de interferencia (pigmentos que consisten en micas cubiertas con una capa delgada de óxidos metálicos). Hasta ahora las bajas prestaciones de estos materiales y su alto precio han limitado su uso pero gracias a mucho trabajo de investigación, se ha desarrollado una nueva generación de “filmes antitérmicos” con un buen balance coste/prestaciones (López-Marín *et al.*, 2008).

La temperatura nocturna y la radiación MIR. El mantenimiento de una temperatura nocturna mínima que garantice la viabilidad y el crecimiento del cultivo es un objetivo de los agricultores tanto en climas fríos como en climas mediterráneos con inviernos frescos. En el primer caso, los invernaderos suelen ser calefactados y en el segundo pasivos, pero en ambos casos las propiedades del material de cubierta pueden contribuir a controlar el clima del invernadero.

Los filmes térmicos son materiales que absorben o reflejan la radiación infrarroja media (2.500-50.000 nm), especialmente la “ventana atmosférica” (7.000-14.000 nm). Al impedir que la radiación emitida por el suelo durante la noche salga del invernadero, contribuye a mantener la temperatura de las plantas. Para fabricar filmes térmicos basados en poliolefinas, se les añaden cargas minerales (sílice, silicatos o boratos) o se aumenta el porcentaje de acetato de vinilo.

Presentan una opacidad excepcional a la parte infrarroja del espectro de emisión de la Tierra, manteniendo la temperatura del invernadero durante la noche y permitiendo ahorros importantes (10-30 %) en el uso de la calefacción. Permiten, por tanto, cultivos en zonas frías, donde con otros materiales de cubierta no serían rentables, y su uso es previsible que se vaya incrementando a medida que sus características vayan siendo conocidas por los agricultores y que se extienda el uso de la calefacción en los invernaderos españoles.

A través de los años, las cargas minerales utilizadas para aumentar la termicidad, los filmes de polietileno de baja densidad (LDPE) y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo/acrilato de butilo (EVA/EBA) han ido evolucionando. Las primeras patentes y los primeros filmes comerciales, a comienzos de los años 70, utilizaron principalmente la sílice, los silicatos y silicatos alúmina hidratada. Con el tiempo, las temperaturas de extrusión usadas por los transformadores aumentaron, y se abandonó el uso del hidróxido de aluminio puesto que se descompone por encima de 180 °C. Durante los años 90 las cargas más utilizadas fueron silicatos, especialmente caolín calcinado. El caolín calcinado tiene algunas limitaciones importantes: acelera la fotodegradación del filme, aumenta moderadamente la turbidez y disminuye la transmisión de luz. Recientemente ha sido desarrollada una nueva familia de cargas minerales que no son degradantes, no disminuyen la transmisión de luz y confieren baja o muy alta turbidez al filme, según el requerimiento. Ahora que la cantidad de carga no es un factor limitante, se pueden alcanzar niveles mayores de eficacia bloqueando la radiación infrarroja, dando lugar a una nueva generación de las películas ultratérmicas (UT), (Espí *et al.*, 2005).

5. Los materiales de cubierta y la humedad

Los materiales con propiedades antigoteo, además del efecto positivo sobre la transmisión de luz que ya se ha comentado, tienen efectos sobre otras propiedades que afectan al clima del invernadero. Así, un filme antigoteo cubierto de condensación tiene una menor transmisión infrarroja por lo que ayuda a reducir las pérdidas de calor durante la noche. La forma de condensación también afecta a la humedad dentro del invernadero y a la condensación o goteo sobre el cultivo aunque es difícil generalizar estos efectos ya que dependen mucho de la interacción entre el material y la estructura.

Así, un buen filme antigoteo montado correctamente sobre una estructura en arco ayuda a mantener la humedad relativa por debajo del punto de condensación sobre las plantas. El mismo filme montado de forma deficiente o sobre una estructura poco adecuada puede favorecer el goteo sobre las mismas. Una cubierta que contenga un surfactante de baja calidad que sea fácilmente extraído por la humedad, puede generar niebla dentro del invernadero al favorecer el surfactante la formación de gotitas de muy pequeño tamaño en el aire. Los actuales filmes con efecto antigoteo de buena calidad ya no presentan estos efectos no deseados.

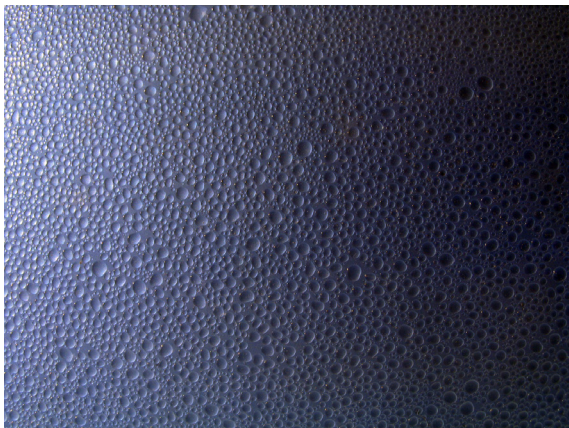


Figura 5. Condensación de agua sobre un filme normal (arriba), y sobre uno con efecto antigoteo en su cara interna (debajo)

6. La duración de las cubiertas de invernadero

Todos los efectos positivos que un material de cubierta puede aportar al manejo del invernadero quedan supeditados a que el material mantenga su integridad física durante su tiempo esperado de vida, como se ha mencionado, actualmente entre dos y cuatro campañas agrícolas. De hecho, la duración de la cubierta es la única propiedad que suele estar garantizada y probablemente la que más se ha estudiado y documentado (Espí *et al.*, 2007). A continuación se resumen los factores más importantes que afectan a la duración del material y se dan algunos consejos para alargar en lo posible su vida útil.

Factores que afectan a la duración de un filme agrícola

Factores intrínsecos:

- Polímero base (LDPE, LLDPE, EVA).
- Tipo de filme (mono o multicapa).
- Espesor del filme.
- Estabilización.
- Otros aditivos (cargas, pigmentos, aditivos antigoteo...).

Factores externos previos a su utilización:

- Condiciones de fabricación.
- Condiciones de almacenamiento.
- Colocación.

Factores externos durante su utilización:

- Estructura del invernadero (material de la estructura, protección de la superficie de contacto, diseño, fijación del filme).
- Condiciones climáticas (radiación, temperatura, viento, lluvia, nieve...).
- Cultivo.
- Agroquímicos.

Consejos para alargar la vida útil de las cubiertas

Transporte y almacenamiento:

- No arrastrar las bobinas ni rozar sus bordes.
- Apoyarlas sobre una superficie lisa y sin salientes.
- No colocar sobre las bobinas objetos pesados, duros o punzantes.
- Guardar las bobinas evitando su exposición a la luz solar, calor y humedad. Mejor envolverlas en plástico negro.

Colocación del plástico sobre la estructura del invernadero:

- No rodar la bobina por el suelo.
- Tener cuidado que los alambres del invernadero (si los hay) no tengan extremos sueltos. Su tensión debe ser la máxima posible.
- Eliminar restos de estructuras, hierros oxidados, puntas o astillas de palo.
- No colocar los plásticos durante las horas de máximo calor para evitar su excesiva dilatación.
- Durante la instalación, se utilizarán tablas apoyadas en la estructura para moverse. En ningún caso, se andará por la superficie del film.
- No tensar excesivamente los plásticos sobre las estructuras. Un estiramiento excesivo puede producir una reducción en el espesor y, como consecuencia, una duración menor.

Durante el cultivo:

- Desinfección del suelo. En caso de desinfectar el suelo con productos químicos, debe cubrirse éste con un film para evitar que los gases que se desprenden entren en contacto con los plásticos de cubierta y los ataquen.
- Contacto de los cultivos con el film. Los contactos directos de los cultivos con el film de cubierta aceleran la degradación del plástico. Deben evitarse dichos contactos.
- Desinfección de los cultivos. Durante la desinfección de los cultivos, se debe procurar no salpicar al plástico del invernadero con productos químicos. Los plaguicidas químicos son los principales causantes de la degradación de los plásticos.

- Ventilación. El agua, al condensarse dentro del invernadero, extrae sus aditivos y transporta los plaguicidas a la cubierta que, como antes se ha dicho, son agentes que dañan los plásticos. Para evitar estos perjuicios, es necesario ventilar adecuadamente los invernaderos.
- Estructura. Una estructura alta y con buena ventilación cenital permite controlar mejor las condiciones de ventilación antes mencionadas.
- Eliminación de residuos. No quemar dentro del invernadero restos de cosechas. Los gases desprendidos atacan al plástico.
- Calefacción. Para la calefacción de socorro, no debe quemarse ningún producto (neumáticos, sebos, etc.) ni ningún combustible que tenga azufre en su composición.
- Estructura de madera. Para las estructuras de los invernaderos, usar madera curada (sin productos químicos). La madera verde segrega sustancias químicas que pueden extraer o destruir los aditivos de los plásticos. Se debe utilizar una pintura blanca en dispersión acuosa para proteger la cara externa del film en las zonas de contacto con la estructura.
- Estructura metálica. Las estructuras oxidadas o pintadas de color oscuro favorecen la degradación del plástico. Como en el caso anterior, se debe emplear una pintura blanca en dispersión acuosa para proteger la cara externa del film en las zonas de contacto con la estructura.

7. Reciclado y valorización de los materiales de cubierta

Al final de su vida útil como materiales de cubierta de invernadero, los materiales plásticos han perdido una parte de las propiedades mecánicas y ópticas iniciales, lo que les invalida para esa aplicación, pero mantienen otra parte que los hace valiosos, bien sea en una segunda vida como material (reciclado) o a través del aprovechamiento de la energía que contienen (valorización)

Desde el punto de vista de la toxicidad, podemos decir que el plástico propiamente dicho no es un contaminante, ya que no afecta de forma negativa al hombre, seres vivos y medio ambiente. El problema radica en que el plástico se abandona en el medio donde, junto a los agentes biológicos externos, puede convertirse en un contaminante.

Se distinguen de forma general dos tipos de reciclado: el mecánico y el químico; y dentro de ambos podemos diferenciar distintas especialidades, como veremos a continuación.

Actualmente la técnica de reciclado de plásticos agrícolas que más se utiliza en España es el reciclaje mecánico. El plástico se puede reutilizar en forma de granza que consiste en la transformación del residuo en nuevo material plástico, con peores propiedades que las que tenía inicialmente, es decir, devolver el material al ciclo de consumo del que partió, aunque para otras aplicaciones con menores requisitos. La reutilización en forma de aglomerado es un reciclado mecánico más básico que el anterior, ya que se limita a un triturado más intensivo del residuo y a un posterior encolado, de manera que el producto final tiene menor calidad (puede contener pequeñas partículas ajenas al plástico) y menor precio. Este aglomerado se destina a la fabricación de contenedores de basura, capazos para la recolección hortofrutícola, maceteros, etc.

El reciclado químico es la descomposición del material plástico mediante procesos termoquímicos en moléculas más pequeñas que tengan interés industrial. Éstas pueden ser, o bien monómeros que pueden utilizarse directamente para producir nuevos polímeros los cuales servirán de materia prima para la industria petroquímica, o bien otras sustancias que pueden ser utilizadas en otro lugar como materiales de partida en procesos de la industria química básica.

Por último, la valorización energética es la combustión controlada con recuperación energética. Se trata de otra opción para el tratamiento de los residuos plásticos agrícolas diferente al reciclaje y es especialmente interesante en aquellos casos en que los plásticos han sufrido degradaciones debido a las radiaciones solares que impiden su reciclaje mecánico. La co-combustión de residuos plásticos en centrales térmicas de carbón pulverizado tiene grandes ventajas, las más destacadas son que el rendimiento es más elevado que el de la incineración en masa, se disminuye el consumo de combustibles fósiles y se reducen las emisiones de CO₂. Por otra parte, el potencial de consumo de combustibles sólidos en este tipo de centrales es muy elevado y las mismas están distribuidas geográficamente en la mayoría de las regiones.

Referencias bibliográficas

- Castilla, N. (2004): *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Madrid, Mundi-Prensa.
- Castilla, N. y Hernández, J. (2005): "The plastic greenhouse industry of Spain"; *Chronica Horticulturae (ISHS)*, 45(3); pp.15-20.
- Díaz, T.; Espí, E.; Fontecha, A.; Jiménez, J. C.; López, J. y Salmerón, A. (2001): *Los filmes plásticos para la producción agrícola*. Madrid, Mundi-Prensa.
- Espí, E.; Salmerón, A.; Fontecha, A.; García, Y. y Real, A. I. (2005): "New ultrathermic films for greenhouse covers"; *Journal of Plastic Films and Sheeting*, 22(1); pp. 59-68.
- Espí, E.; Salmerón, A.; Fontecha, A.; García, Y. y Real, A. I. (2007): "The effect of different variables on the accelerated and natural weathering of agricultural films"; *Polymer Degradation and Stability*, (92); 2150-2154.
- García, Y.; Espí, E.; Salmerón, A.; Fontecha, A. y González, A. (2004): "Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouses of Southern Spain"; *Acta Horticulturae (ISHS)*, (659); pp. 331-335.
- Garnaud, J. C. (2000): "Plasticulture magazine: a milestone for a history of progress in plasticulture"; *Plasticulture*, (119); pp. 30-43.
- López-Marin, J.; González, A.; García, Y.; Espí, E.; Salmerón, A.; Fontecha, A. y Real, A. I. (2008): "Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain"; *Acta Horticulturae (ISHS)*, (801); pp. 181-186.