



Capítulo IV

63

Materiales de cubierta y cerramiento para la construcción de invernaderos: criterios técnicos para su selección

Edwin Andrés Villagrán Munar
Stephanie Johana Numa-Vergel
Yeni Rodríguez Giraldo

Introducción

La producción agrícola bajo invernadero se ha convertido en un elemento fundamental para garantizar la sostenibilidad de la población actual, debido, principalmente, a la falta de fiabilidad y a la alta vulnerabilidad que presentan los sistemas tradicionales de producción de alimentos (Maraveas, 2019). Asimismo, se proyecta que la producción bajo invernadero será una de las alternativas de intensificación más implementadas para enfrentar los desafíos futuros que sobre los sistemas de producción ocasionarán el cambio climático, la crisis ambiental generada por el actual modelo de desarrollo de los países y el aumento de la población mundial (Villagrán et al., 2021).

Para que la agricultura bajo cubierta sea un modelo de éxito, hay unas decisiones técnicas que se deben tomar con criterio. Una de ellas es la selección del material de cubierta y cerramiento para la fabricación del invernadero. Estos materiales afectan una de las variables más importantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos: la luminosidad (Tantau et al., 2012). En términos energéticos, el material de cubierta también determina el comportamiento de la temperatura que se presenta en el interior del invernadero y, a su vez, la capacidad de almacenamiento térmico de la estructura, por lo tanto, será un factor que marcará la eficiencia energética de los sistemas de climatización implementados para el control de temperatura (Papadakis et al., 2000).

El material de cubierta también afecta directamente la robustez estructural que debe presentar el tipo de invernadero que se fabricará. En este sentido, se debe resaltar que, en la actualidad, existen materiales rígidos, como el vidrio, que requieren de invernaderos con un mayor número de elementos estructurales en la zona de la cubierta (Espí, 2012). Por otro lado, están los materiales flexibles, como el plástico, el cual es el principal material seleccionado a la hora de fabricar invernaderos de baja tecnología. El plástico no requiere de estructuras robustas y su proceso de instalación es mucho más sencillo, en comparación con el vidrio, sin embargo, su durabilidad está limitada a un periodo de tres o cuatro años (Tantau et al., 2012).

De acuerdo con lo anterior, en este capítulo se brindará la información técnica adecuada para que un productor tenga las herramientas necesarias que le permitan seleccionar el material de cubierta y cerramiento más adecuado para su sistema de producción bajo cubierta.

Tipologías de materiales para cubierta de invernaderos

Los materiales de cobertura de invernaderos son un factor clave para mantener el microclima dentro de la estructura en niveles adecuados para los cultivos. Asimismo, el tipo de material de cubierta es un factor muy importante que determinará las necesidades de carga de energía para labores de calefacción y refrigeración (Kim et al., 2022). A nivel mundial, desde 1970, los países dedicados a la producción agrícola bajo invernadero se inclinaron por dos corrientes de desarrollo distintas.

Primero, los países del norte de Europa, donde las condiciones climáticas, tanto en invierno como en verano, presentan valores extremos de temperatura, optaron por estructuras de invernadero de alta tecnología en las que el material predominante fue el vidrio (Castilla & Hernández, 2005) (figura 20).



Figura 20. Invernadero tipo venlo con cubierta de vidrio.

Foto: Edwin Villagrán

Segundo, los países más cercanos a la región tropical, como los de la costa del Mediterráneo y los países latinoamericanos, donde las condiciones de temperatura son menos extremas, optaron por estructuras de bajo y mediano costo, en las que el material de cubierta seleccionado fue el plástico (Baudoin et al., 2013) (figura 21).



Figura 21. Invernadero tipo túnel monotramo con cubierta plástica.

Foto: Edwin Villagrán

El vidrio como material de cubierta para invernadero

El vidrio usado para la fabricación de invernaderos es el material que presenta mayores ventajas para la producción agrícola bajo cubierta. En términos de duración, tiene una mayor vida útil, en comparación con materiales de cubierta plástica. Energéticamente, posee una alta eficiencia en el uso de la energía consumida para labores de calefacción y enfriamiento (Fang et al., 2005). Adicionalmente, el vidrio para uso en invernaderos presentó una gran evolución en sus características desde los años setenta, impulsada principalmente por la crisis energética que golpeó la horticultura protegida en los principales países europeos, donde las condiciones invernales son extremas, como es el caso de Holanda y Bélgica (Castilla & Hernández, 2005).

Estos desarrollos permitieron que se fabricaran comercialmente paneles de vidrio templado para cubierta de invernadero. En términos de seguridad, esto fue significativo, puesto que, si por algún motivo se llega a desprender un panel de vidrio de la cubierta, este se desintegrará, limitando el riesgo para los trabajadores en el interior del invernadero, ya que el impacto con el material será menor. Asimismo, con el fin de mejorar la eficiencia energética para labores de calefacción o enfriamiento, se fabricaron paneles de vidrio de hasta tres capas, lo cual permite conseguir estructuras de invernadero con una mayor hermeticidad térmica. Sin embargo, es importante resaltar que el vidrio tiene como desventaja su alto costo. Debido a esto, a nivel mundial, el área total bajo invernadero de vidrio para cubierta y cerramiento es de solo el 1 % (Baudoin et al., 2013). En la tabla 11, se incluyen algunas propiedades ópticas y térmicas del vidrio que pueden ser de interés para aplicaciones de cultivos bajo cubierta.

Tabla 11. Propiedades ópticas y térmicas del vidrio

Propiedad	Valor
Conductividad térmica (k) ($\text{Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$).	0,81
Espesor (mm).	3,20
Densidad, ρ , (kg m^{-3}).	0,88
Emisividad (ϵ).	0,84
Transmisión de la radiación solar (%).	0,88
Reflectividad de la radiación solar (%).	0,136
Coeficiente de transferencia de calor (U) ($\text{Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$).	2,89
Coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC).	0,78

Fuente: Elaboración propia con base en Valera et al. (2008)

Materiales flexibles plásticos usados en cubiertas de invernadero

Los materiales flexibles plásticos usados en cubiertas de invernadero tienen tres factores técnicos que deben ser cuidadosamente analizados: i) propiedades mecánicas, ii) propiedades ópticas y iii) propiedades térmicas (Rocha et al., 2021). En general, un material de cubierta idóneo para aplicaciones de agricultura protegida debe ser fotoestable, lo cual garantizará que se mantengan sus principales características durante la exposición a la radiación solar por periodos de tiempo prolongados. También es relevante que sea traslúcido, para permitir el paso de la radiación solar hacia el interior del invernadero,

ya que este es un factor clave para las actividades fisiológicas de las plantas, como la fotosíntesis y la transpiración. Adicionalmente, debe ser un material opaco a la radiación térmica, con el fin de evitar la pérdida energética acelerada durante las horas noche y, por ende, la pérdida de temperatura. Por último, ha de ser un material hidrófilo, que no permita la formación de gotas y su posterior precipitación hacia las plantas por efecto de la condensación.

Las propiedades mencionadas no están convencionalmente presentes en el plástico, sin embargo, debido al desarrollo industrial que han tenido los plásticos para cubierta de invernadero desde 1980, mediante la aplicación de aditivos minerales y estabilizantes de luz, es posible obtener materiales fotoestables, traslúcidos, térmicos e hidrófilos. Además, debido al proceso de fabricación por extrusión y soplado, algunos materiales plásticos pueden fabricarse con las dimensiones y el calibre deseados (Espí, 2012).

Por último, la vida útil de las películas plásticas se ha logrado aumentar hasta en un 500 %, en relación con su durabilidad en el año 1970, con lo que actualmente existen películas con una duración media de hasta cuatro años. La vida útil depende de los fotoaditivos agregados, del clima local y de los tratamientos químicos que se realicen en el cultivo para el manejo de plagas y enfermedades (Montero et al., 2013). Los materiales plásticos y flexibles más usados para cubierta de invernadero son polietileno (PE) en diferentes densidades, copolímero etileno vinil acetato (EVA), policloruro de vinilo (PVC) y policarbonato (PC).

Polietileno (PE)

Es el material más utilizado en plasticultura, ya sea para fabricación de cubiertas de invernaderos, semitúneles o acolchados (Montero et al., 2008). Puede considerarse de bajo costo, con buenas propiedades mecánicas, y se comercializa en diferentes densidades, según la aplicación para la que sea requerido (tabla 12). Actualmente, pueden conseguirse de forma comercial películas de polietileno hechas a la medida para diferentes tipos de cultivo y condiciones climáticas (Villagrán et al., 2021).

Tabla 12. Tipo de polietileno según su densidad

Polietileno de baja densidad (PEBD)	Polietileno lineal de baja densidad (PELBD)	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Es el más utilizado para fabricación de cubiertas de invernadero y su densidad es inferior a los 930 kg/m ³ .	Es un material usado en acolchados y semitúneles. Para cobertura de hileras de cultivo su densidad oscila entre los 930 y 940 kg/m ³ .	Es un material usado para fabricar contenedores en sistemas de cultivo sin suelo y para fabricar materias primas de riego y drenaje. Su densidad es superior a los 940 kg/m ³ .

Fuente: Elaboración propia con base en Kittas et al. (2013)

Policloruro de vinilo (PVC)

Se fabrica en láminas con anchos que varían de 2 a 8 m y posee alta transmisión de la luz visible, con porcentajes superiores al 80 %, aunque su tasa de difusión de la luz es baja, por lo cual pueden verse quemaduras sobre las plantas, debido a radiación directa o en regiones de cultivo con sombra excesiva. Entre sus desventajas está ser un material que atrae fácilmente el polvo. Adicionalmente, presenta deterioro físico y de color al término de uno o dos años (Díaz et al., 2001).

Copolímero etileno vinil acetato (EVA)

Este tipo de película plástica es usado en la fabricación de semitúneles bajos o para dobles techos en el interior del invernadero. También es posible usarlo como cubierta exterior, aunque se recomienda su uso en regiones donde no existan altas tasas de precipitación y alta cantidad de polvo en el ambiente (Díaz et al., 2001).

Polycarbonato (PC)

En términos de calidad para uso en cubierta de invernadero, es un material que se acerca a las prestaciones que ofrece el vidrio, sin embargo, el polycarbonato tiene la ventaja de una menor densidad y de un menor costo económico, por lo cual es asequible para un número mayor de productores. Por otra parte, tiene una tasa de transmisión de luz relativamente alta y, adicionalmente, posee una adecuada tasa de difusión de la radiación solar interceptada, lo que ayuda a promover un crecimiento homogéneo del cultivo en el interior del invernadero. Asimismo, es recomendable que el polycarbonato seleccionado para cubierta de invernadero cuente con filtración y protección de los rayos UV, lo cual limita la quemadura de las plantas por radiación directa y, asimismo, aumenta la vida

útil del material de cubierta. En la tabla 13, se incluyen algunas propiedades de interés respecto a cubiertas plásticas específicas para invernadero.

Tabla 13. Principales propiedades de las cubiertas flexibles

Propiedad	Tipo de plástico				
	PEBD	PEAD	EVA	PVC	PC
Densidad (ρ) (kg/m ³).	930	960	930	1500	1200
Transmisión de la radiación solar (%).	90	90	90	90	83
Transmisividad de la radiación térmica (%).	65	65	11	30	0
Coefficiente de trasferencia de calor (U) (W/m ² °K).	9	9	7	8	4

Fuente: Elaboración propia con base en Díaz et al. (2001)

Películas de polietileno para cubierta de invernadero con características especiales

Películas plásticas claras

El porcentaje de intensidad de la radiación solar que incide en el interior de un invernadero siempre será inferior respecto a la intensidad de la radiación solar en el exterior. El grado de reducción en la intensidad de la radiación solar dependerá de factores propios de la fabricación de la película plástica, como el espesor y su grado de translucidez. La pérdida de transmisión en una película plástica nueva puede variar entre el 5 y el 15 %, mientras que una película con tres años de uso puede llegar a ser del 45 %, debido a situaciones propias del contexto local, como el clima, la cantidad de polvo, la suciedad y las algas (Espí, 2012).

Las películas claras se caracterizan por no generar turbidez a la visión de objetos o cultivos desde la cara opuesta de la película plástica, en otras palabras, permiten ver los objetos nítidamente (Cabrera et al., 2009). Este tipo de películas plásticas se recomienda para lugares con climas nubosos y húmedos, ya que bajo estas condiciones la intensidad de luz puede llegar a ser un factor limitante del cultivo; además, evita la quemadura de los cultivos por radiación directa (Espí, 2012). En la tabla 14, se mencionan algunas películas plásticas claras disponibles en el mercado colombiano.

Tabla 14. Películas plásticas claras comercializadas en Colombia

Nombre comercial	Características ópticas	Cultivos recomendados
Suncover Clear, fabricada por Ginegar.	Transmisión de luz: 88 %. Difusión de luz: 25 %. Transmisión uv: parcial.	Claveles. Pompones. No recomendada para cultivos con tratamientos fitosanitarios con azufre.
Suntherm Clear, fabricada por Ginegar.	Transmisión de luz: 89 %. Difusión de luz: 23 %. Transmisión uv: parcial.	Claveles. Pompones.
Agrolene, fabricada por Plastilene.	Transmisión de luz: 90 %. Difusión de luz: 18 %. Transmisión uv: 1 %.	Hortalizas. Rosa y follajes. Tomate.

Fuente: Elaboración propia

Películas plásticas difusas

Este tipo de películas plásticas no permite ver con nitidez los objetos en el interior del invernadero. Se trata de películas recomendadas para condiciones climáticas con alta radiación solar directa. Con el uso de películas plásticas difusoras, bajo este tipo de condiciones climáticas, se evitan quemaduras en el follaje de las plantas y sombreamiento sobre algunas partes en el interior del invernadero (Cabrera et al., 2009). En la tabla 15, se mencionan algunas películas plásticas difusas disponibles en el mercado colombiano.

Tabla 15. Películas plásticas difusas comercializadas en Colombia

Nombre comercial	Características ópticas	Cultivos recomendados
Reysun Plus 175, fabricada por Euromallas.	Transmisión de luz: 90 %. Difusión de luz: 55 %. Transmisión uv: parcial.	Tomate. Cannabis. Melón.
Suntherm Diffused 303, fabricada por Ginegar.	Transmisión de luz: 88 %. Difusión de luz: 55 %. Transmisión uv: parcial.	Claveles. Pompones.
Agroclear, fabricada por PQA.	Transmisión de luz: 85 %. Difusión de luz: 55 %. Transmisión uv: 1,5 %.	Lechuga. Tomate. Gerberas y <i>fillers</i> .

Fuente: Elaboración propia

Películas plásticas antipolvo o autolimpiables

Los polímeros con los cuales se fabrican los plásticos convencionales para cubierta de invernadero suelen ser materiales con una baja conductividad eléctrica (Espí, 2012), la cual se genera debido al movimiento y la fricción causados por el viento, lo que provoca acumulación de electricidad estática en la superficie plástica, atrayendo material particulado hacia la cubierta, y, por tanto, pérdida de transmisión de luz hasta en un 10 % por cada año de uso (Antón et al., 2000). Por lo anterior, en regiones donde por cualquier motivo exista una gran cantidad de polvo en la atmósfera, lo ideal es seleccionar cubiertas plásticas antipolvo (figura 22), ya que este tipo de cubiertas es fabricado con aditivos que ayudan a aumentar la conductividad eléctrica, tanto en el interior como a nivel superficial del material plástico, lo que reduce la cantidad de polvo sobre la cubierta y, por ende, las labores de mantenimiento (Espí, 2012).

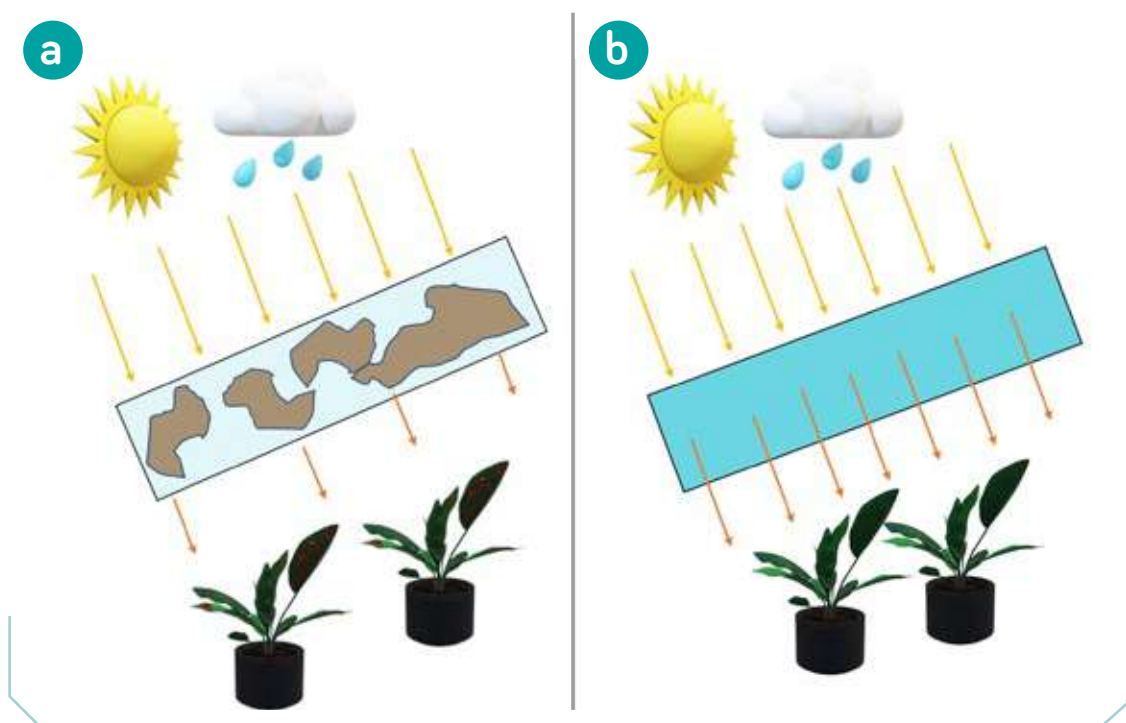


Figura 22. Transmisión de la radiación solar. a. Mediante película plástica convencional; b. Mediante película plástica autolimpiable.

Fuente: Elaboración propia

Películas plásticas antigoteo

En regiones climáticas donde predominen altas tasas de humedad relativa (superiores al 80 %), se recomienda usar películas plásticas con características antigoteo. El vapor de agua generado por el cultivo en el interior del invernadero y las condiciones climáticas externas generan una atmósfera de aire saturado que, al tener contacto con la superficie interior de una película plástica convencional, origina el fenómeno de condensación. Estas gotas de agua se precipitan en las plantas, lo que genera un ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades fúngicas (Baeza et al., 2009). Asimismo, las gotas de agua presentes en la cubierta reducen la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por su sigla en inglés) hacia el interior del invernadero hasta en un 20 %, lo que se traduce en una reducción de la tasa fotosintética y, posteriormente, del rendimiento de los cultivos (Castilla & Hernández, 2005). Por el contrario, las películas plásticas antigoteo, fabricadas con aditivos que aumentan la tensión superficial del agua, no permiten la formación de gotas y, en su lugar, se crea una lámina fina y continua de agua (figura 23).

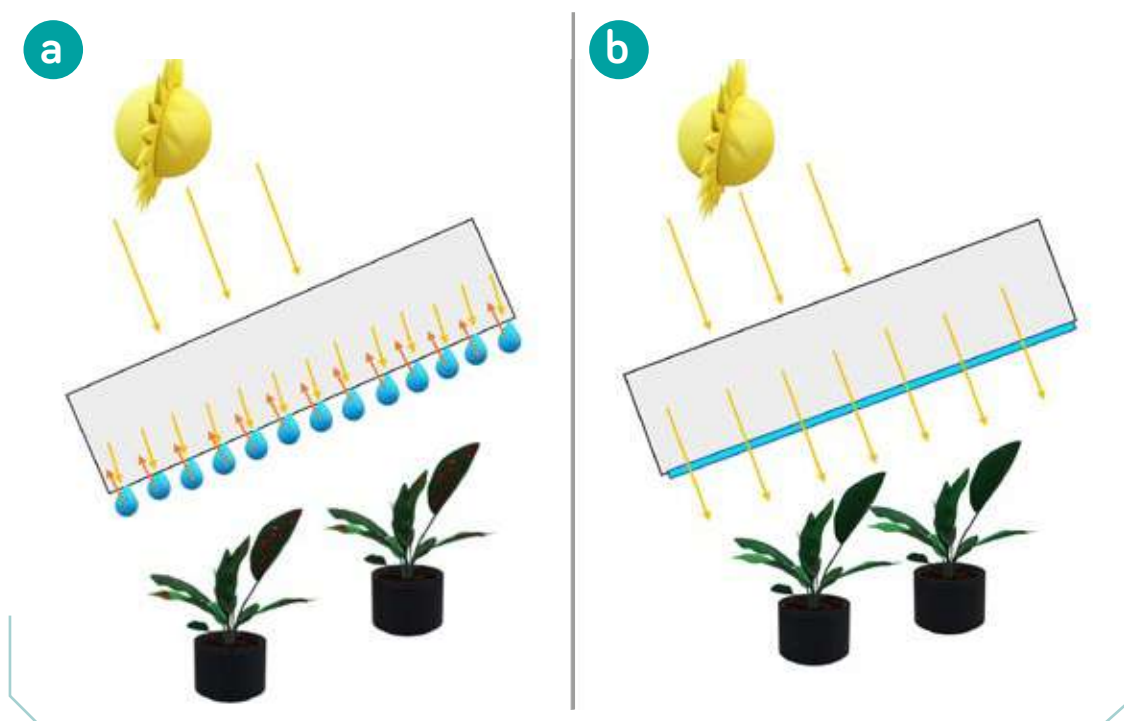


Figura 23. Condensación del agua y transmisión de la radiación solar. a. Mediante película plástica convencional; b. Mediante película plástica antigoteo.

Fuente: Elaboración propia

Películas plásticas antiplagas

Este tipo de películas plásticas funciona bajo el principio de bloquear parte del espectro de los rayos ultravioleta visible (uv) entre 190 y 800 nm; principalmente, bloquea longitudes de onda entre los 290 y 380 nm. Lo anterior permite repeler insectos plaga de importancia agrícola y transmisores de enfermedades víricas en cultivos bajo invernadero, entre ellos, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Frankliniella occidentalis*). Estos insectos ven reducida o limitada su movilidad en el espacio a causa del bloqueo de los rayos uv en longitudes inferiores a 380 nm (Monci et al., 2002) (figura 24). Sin embargo, también se debe mencionar que estas películas plásticas pueden afectar en menor medida a las poblaciones de polinizadores en el interior del invernadero (Pérez Parra et al., 2010). Resultados de algunos ensayos de investigación muestran que las poblaciones de mosca blanca y trips pueden disminuir hasta en un 65 % respecto a invernaderos que usan películas plásticas convencionales (Pérez et al., 2009). Por último, también es importante mencionar que el filtrado y bloqueo de la radiación uv afecta el crecimiento y esporulación de hongos patógenos, como *Botrytis cinerea*, lo que reduce su incidencia e, incluso, la evita (Díaz et al., 2001).

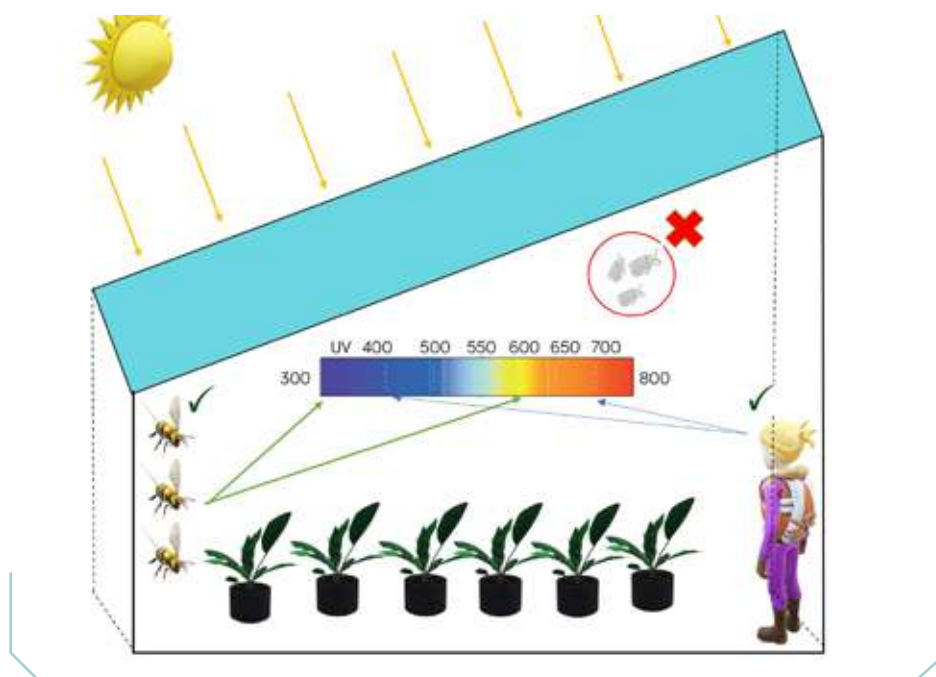


Figura 24. Los seres humanos, las abejas y otros insectos son sensibles a diferentes longitudes de onda de radiación solar.

Fuente: Elaboración propia

Películas plásticas con bloqueo a la luz NIR

Aproximadamente, 45 % de la radiación solar que incide en el invernadero es útil para la fotosíntesis. Esta se conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR). El otro porcentaje de la radiación se convierte en energía y se encuentra en el rango del infrarrojo cercano (NIR), entre 780 nm y 2500 nm. Esta última radiación es la que provoca el calentamiento en el interior del invernadero, y debido a ello se aceleran procesos fisiológicos, como la transpiración de la planta, lo cual no es deseable en climas cálidos y áridos, donde hay escasez de agua. Por lo tanto, para este tipo de condiciones climáticas extremas o donde la temperatura del invernadero exceda los límites óptimos para el desarrollo del cultivo establecido, se recomienda el uso de películas plásticas con aditivos reflectantes, que generan un bloqueo parcial de la radiación NIR, también conocidas como películas antitérmicas o plásticos fríos (López-Marín et al., 2007) (figura 25). Es importante señalar que la selección de la cubierta NIR va a depender de las condiciones de radiación solar durante todo el año y del tipo de cultivo a establecer; por lo tanto, en función del análisis de esta información se puede definir el uso de películas plásticas NIR de forma temporal o permanente.

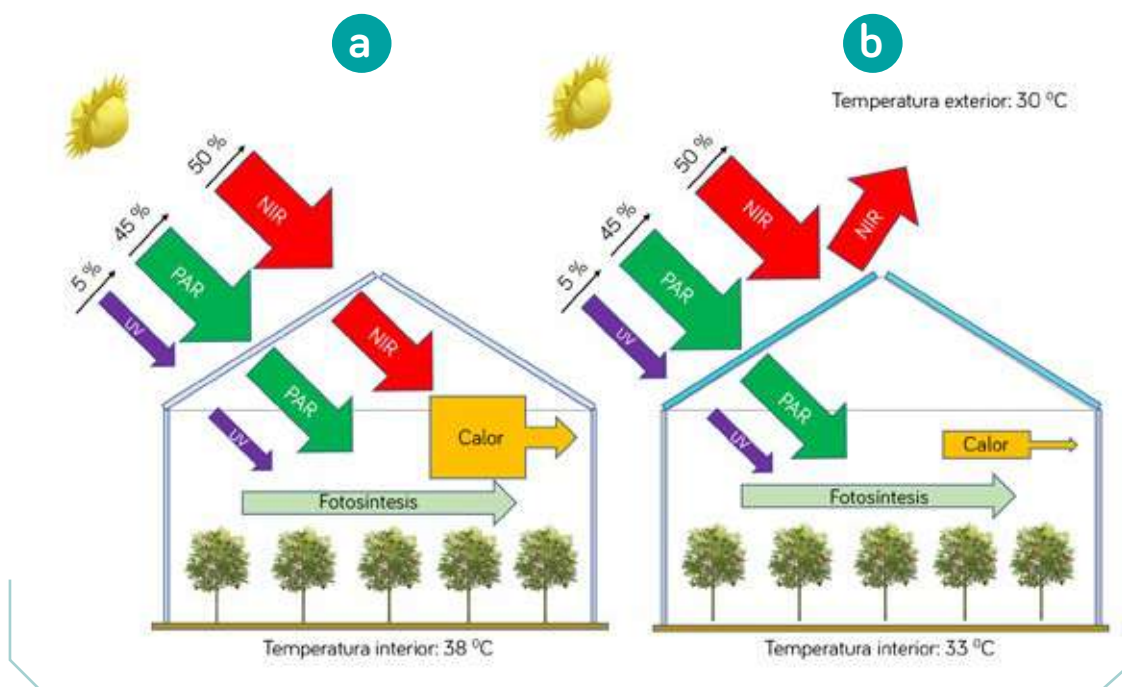


Figura 25. Flujo de radiación en un invernadero. a. Con cubierta plástica convencional; b. Con cubierta con bloqueo NIR.

Fuente: Elaboración propia.

Películas plásticas con bloqueo MIR

En climas fríos y en regiones donde se presenten fenómenos de heladas, una de las problemáticas importantes en los invernaderos está relacionada con la temperatura óptima en su interior durante el periodo nocturno (Villagrán & Bojacá, 2019). Específicamente, en invernaderos que no cuentan con sistemas de calefacción, las temperaturas mínimas de la noche son inferiores al rango óptimo recomendado para las especies vegetales de interés comercial. Una de las alternativas para atenuar esta reducción de temperatura en los invernaderos es usar películas plásticas con bloqueo de la radiación térmica del infrarrojo medio (MIR) entre $2,5\ \mu\text{m}$ y $25\ \mu\text{m}$, también conocidas como películas plásticas térmicas (Espí et al., 2006). Por su composición, estas cubiertas, al tener una mayor cantidad de minerales, como sílice, silicatos y boratos, tienen la capacidad de absorber y reflejar hacia el interior del invernadero la radiación en longitudes de onda entre los 2.500 y $14.000\ \text{nm}$ (Espí, 2012) (figura 26). Por lo tanto, al impedir que la radiación emitida por el suelo del invernadero se escape rápidamente a la atmósfera, se genera una condición térmica más elevada en el interior del invernadero, en comparación con invernaderos construidos con películas plásticas convencionales (Villagrán-Munar & Bojacá-Aldana, 2020).

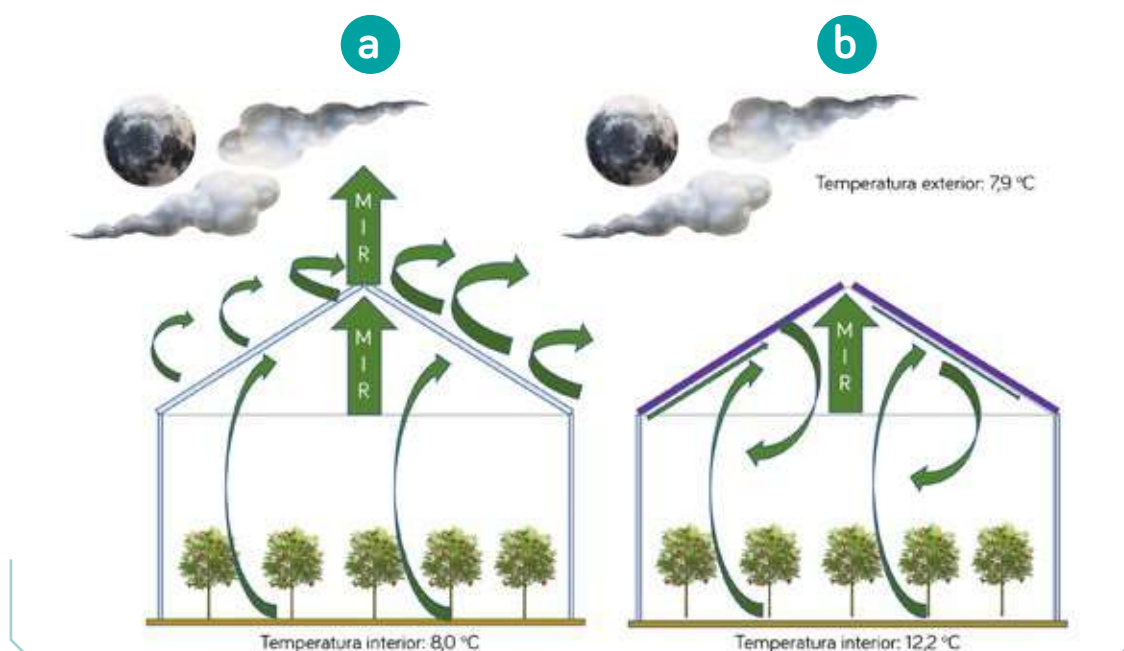


Figura 26. Flujo de radiación en un invernadero. a. Con cubierta plástica convencional; b. Con cubierta con bloqueo MIR.

Fuente: Elaboración propia.

Películas plásticas luminiscentes

Este tipo de película plástica, conocido también como fluorescente, hace parte del grupo de los últimos desarrollos en cubiertas plásticas para cubiertas de invernadero. Estas películas plásticas realizan una modificación de la calidad de la radiación solar en su distribución espectral entre la parte ultravioleta y el rango visible. Por lo tanto, absorben longitudes ultravioletas y verdes que son poco útiles para las plantas y las convierten en luz azul y roja, que, en términos de calidad lumínica, es mayormente aprovechada por las plantas. Esta modificación de la luz permitirá obtener mayores producciones y una mejor calidad en los productos cosechados. Sin embargo, aún es necesario desarrollar más investigaciones al respecto, pues la respuesta de cada cultivo es diferente. Estas películas plásticas aún son costosas a nivel comercial, por lo tanto, su implementación es todavía escasa. No obstante, a la hora de adquirir este tipo de materiales de cubierta, se deben tener presentes las siguientes características: fotoestabilidad, efecto fluorescente, distribución espectral y transmisión de radiación total (Espí, 2012).

Materiales de cerramiento



Figura 27. Invernadero con cubierta en policarbonato y costados laterales y fachadas en vidrio.

Foto: Edwin Villagrán

Generalmente, tanto en sus fachadas como en sus costados laterales, los invernaderos usan como material de cerramiento el mismo seleccionado para la cubierta. Sin embargo, existe la posibilidad de que se encuentren invernaderos donde se combinan materiales. Por ejemplo, en la cubierta se usa polycarbonato y en las paredes laterales y fachadas se usa vidrio con un antepecho de ladrillo, u otra combinación entre los materiales disponibles a nivel local (figura 27).

Mallas porosas a prueba de insectos (antiinsecto)

Estas mallas tienen el objetivo de restringir físicamente el ingreso al invernadero de plagas que puedan afectar el desarrollo adecuado de las plantas. En los últimos años, se ha masificado la instalación de este tipo de mallas en las áreas de ventilación de los invernaderos usados en agricultura protegida (Villagrán et al., 2020). Sin embargo, este tipo de mallas también restringe los flujos de aire hacia el interior del invernadero, lo que genera una modificación del microclima caracterizada principalmente por aumentos de temperatura y humedad (Cabrera et al., 2006). Por lo tanto, el reto técnico consiste en establecer un punto medio entre la restricción física al ingreso de insectos y la modificación del microclima, con el fin de que este último no se convierta en un factor restrictivo para la productividad de los cultivos (Teitel, 2010).

Características estructurales y aerodinámicas de las mallas antiinsecto comerciales

En la actualidad, los agricultores colombianos cuentan con la disponibilidad comercial de diferentes tipos de mallas antiinsecto, provenientes tanto de la industria nacional como de la internacional (Villagrán et al., 2020). En Colombia, se comercializan mallas de 17, 25, 40 y 50 mesh, cada una de las cuales tiene un número de perforaciones o huecos por pulgada cuadrada. Por lo tanto, la malla 17 tiene menos orificios que la malla 50, pero, a su vez, los orificios de la malla 50 son de un menor tamaño que los de la malla 17 (figura 28). Debido a ello, es de esperar que la malla 50 tenga una mayor capacidad para limitar el ingreso de insectos al invernadero, pero generará una mayor pérdida inercial del movimiento del aire y, por lo tanto, un microclima con mayor temperatura.

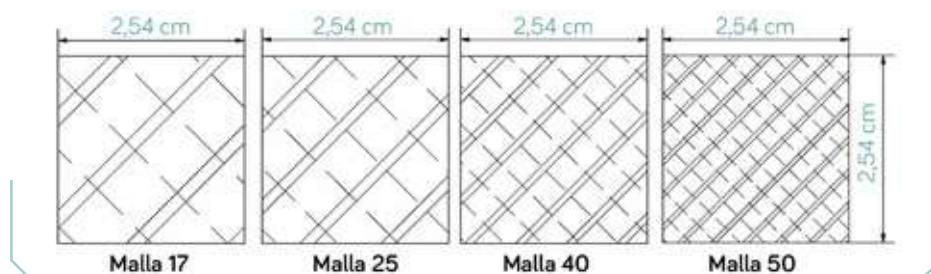


Figura 28. Tipos de mallas comercializadas en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el desarrollo y el estudio de este tipo de mallas han permitido que se fabriquen en diferentes tipos de tramados, ya sea diagonales o en estructuras horizontales y verticales, configuradas con hilos monofilamento de diferente diámetro (figura 29). Lo anterior se ha desarrollado con el objetivo de buscar mallas con mayor efectividad en el porcentaje de exclusión de insectos y con una menor restricción física al flujo de aire que ingresa al invernadero (Tanny et al., 2014).



Figura 29. Diferentes tramados de malla usados en la fabricación de materiales comerciales.

Fuente: Elaboración propia

Por último, otra característica propia de las mallas antiinsecto es el color. Si bien, a nivel mundial, la más implementada es la malla de color blanco tipo perla, también existen mallas de color negro, y otras de colores con características fotoselectivas (figura 30).

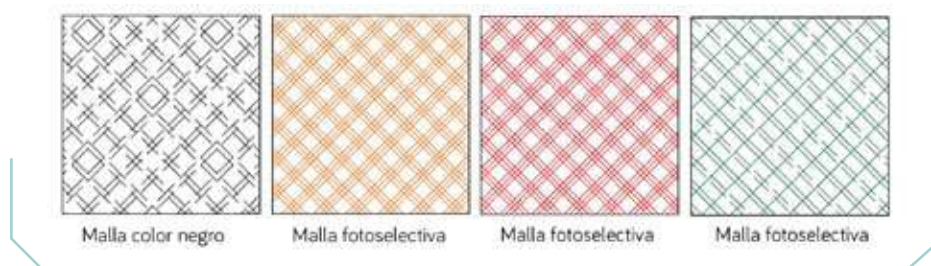


Figura 30. Mallas antiinsecto de diferentes colores.

Fuente: Elaboración propia

Algunos estudios han demostrado que el uso de mallas fotoselectivas reduce la población de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en cultivos de tomate y pimentón hasta en un 250 %, en comparación con mallas antiinsecto blancas. Asimismo, se pudo comprobar que el uso de mallas fotoselectivas no reduce significativamente la población de trips (*Frankliniella occidentalis*), como sí lo hacen las mallas de color negro (Gázquez et al., 2009; Maraveas, 2019). Es importante mencionar que, sea que se usen mallas negras o fotoselectivas, deben ser muy bien analizadas previamente en términos de no limitar la cantidad y calidad de la radiación incidente sobre los cultivos.

Insectos plaga comunes en cultivos bajo invernadero

El éxito del control físico de insectos mediante el uso de pantallas porosas a prueba de insectos en cultivos agrícolas establecidos bajo invernadero —o casas de malla— es altamente dependiente de las características estructurales del tipo de malla seleccionado (Teitel, 2007). Uno de los factores más relevantes está relacionado con el tamaño y la uniformidad del orificio estructurado en la malla a partir del diámetro del hilo y del número de hilos que componen el tejido vertical y horizontal (López et al., 2016). Asimismo, es importante tener muy presente la morfología del insecto plaga que se quiere controlar, por lo tanto, en el momento de la selección de la malla, vale la pena comparar las dimensiones del tamaño del hueco de malla versus las dimensiones del ancho torácico y abdominal del insecto (Pérez Vega et al., 2016). La recomendación general es que la dimensión del hueco de la malla sea lo más pequeña posible en relación con las dimensiones morfológicas del insecto (Teitel, 2007). En la tabla 16, se incluye información morfológica de algunos de los principales insectos plaga presentes en cultivos bajo invernadero.

Tabla 16. Dimensiones de algunos insectos plaga comunes en cultivos bajo invernadero

Insecto plaga	Ancho (micras)	
	Tórax	Abdomen
<i>Liriomyza trifolii</i> .	660	850
<i>Trialeurodes vaporariorum</i> .	288-400	708
<i>Bemisia tabaci</i> .	239-320	565
<i>Frankliniella occidentalis</i> .	192	265

Fuente: Elaboración propia con base en Pérez Parra et al. (2010)

Selección de una malla antiinsecto

Como ya se mencionó, la selección de la malla antiinsecto y las características propias de fabricación de la malla están en función de la morfología del insecto a controlar. En la tabla 17, se presentan algunas características de mallas que el agricultor deberá revisar al momento de adquirir una malla antiinsecto.

Tabla 17. Características físicas óptimas de las mallas antiinsecto

Características	Descripción
Estructurales y mecánicas.	Revisar diámetro del hilo, tamaño bidimensional y tridimensional del hueco u orificio, relación de la trama en número de hilos por cm ² , y uniformidad de la trama y del orificio. Por último, la malla debe tener protección a la radiación uv, lo cual garantizará su mayor durabilidad en el tiempo.
Aerodinámicas.	Porcentaje de exclusión de insectos, porosidad y reducción del flujo de aire.
Ópticas.	Transmisión, reflexión y absorción de la luz. Estos factores son relevantes para la fotosíntesis del cultivo y, adicionalmente, influirán en la generación del microclima en el invernadero.

Fuente: Elaboración propia

Por último, en estudios experimentales, se ha determinado que, para obtener una aceptable exclusión efectiva de *Bemisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*, se deben usar mallas con las características resumidas en la tabla 18.

Tabla 18. Mallas efectivas en la exclusión de insectos plaga

Insecto	Diámetro Ø _{3D} (mm)	Porosidad (%)	Reducción de la ventilación (%)	Tipo de malla (hilos/cm²)
<i>Bemisia tabaci</i> .	0,24	42	33	24 x 12
<i>Frankliniella occidentalis</i> .	0,19	36	41	28 x 14

Fuente: Elaboración propia con base en Cabrera et al. (2006)

En la figura 31, se presentan algunos factores claves a tener en cuenta para la elección de materiales de cubierta y cerramientos de invernaderos.



Figura 31. Factores claves para la elección de materiales de cubierta y cerramiento y para el adecuado desarrollo de un cultivo bajo invernadero.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La selección del material de cubierta y cerramiento es una actividad clave que garantizará el éxito o fracaso de la producción bajo invernadero, debido a que estos materiales influirán fuertemente en la generación de microclimas óptimos, sub y supraóptimos en el interior de la estructura.

En este capítulo, se presentaron algunas características para tener en cuenta sobre los materiales de cubierta y cerramiento de invernaderos, así como las recomendaciones para su selección, teniendo presente la ecofisiología del tipo de cultivo a establecer, las condiciones climáticas dominantes de la región donde se construirá el invernadero y los tipos de malla recomendables para evitar el ingreso de las principales plagas limitantes de los cultivos. Se espera que todo lo anterior ayude al productor a seleccionar adecuadamente los materiales para cubierta y cerramiento de invernaderos, según el requerimiento particular y dentro de la disponibilidad de dichos materiales en el mercado colombiano.

Referencias

- Antón, A., Hernández, J., Castilla, N., & Montero, J. I. (2000). Direct and diffuse light transmission of insect-proof screens and plastic films for cladding greenhouses. *Acta Horticulturae*, 559(559): 203-209. https://www.researchgate.net/publication/286849274_Direct_and_diffuse_light_transmission_of_insect-proof_screens_and_plastic_films_for_cladding_greenhouses
- Baeza, E. J., Pérez-Parra, J. J., Montero, J. I., Bailey, B. J., López, J. C., & Gázquez, J. C. (2009). Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 104(1), 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.04.008>
- Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., Pascale, S. De, & Qaryouti, M. (2013). Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: principles for Mediterranean climate areas [FAO plant production and protection paper 217]. FAO.
- Cabrera, F. J., Baille, A., López, J. C., González-Real, M. M., & Pérez-Parra, J. (2009). Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. *Biosystems Engineering*, 103(3), 344-356.
- Cabrera, F. J., López, J. C., Baeza, E. J., & Pérez-Parra, J. (2006). Efficiency of anti-insect screens placed in the vents of Almería greenhouses. *Acta Horticulturae*, 719. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.719.70>
- Castilla, N., & Hernández, J. (2005). The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae*, 45(3), 15-20.

- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J. C., López, J., & Salmerón, A. (2001). *Los filmes plásticos en la agricultura agrícola*. Mundi-Prensa.
- Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. *CEA*, 3, 71-88.
- Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., García-Alonso, Y., & Real, A. I. (2006). New ultrathermic films for greenhouse covers. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 22(1), 59-68.
- Fang, X., Libin, Z., Jiaoliao, C., & Hongwu, Z. (2005). Modeling and simulation of subtropical greenhouse microclimate in China. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 36(11), 102-105.
- Gázquez, J. C., López, J. C., Pérez-Parra, J., Baeza, E., Meca, D., & Parra, A. (2009). *Influencia de dos estrategias de refrigeración en la presencia de plagas y virus del bronceado del tomate en un cultivo de pimiento californiano en invernadero* [VI Congreso Ibérico Ciencias Hortícolas].
- Kim, H.-K., Lee, S.-Y., Kwon, J.-K., & Kim, Y.-H. (2022). Evaluating the effect of cover materials on greenhouse microclimates and thermal performance. *Agronomy*, 12(1), 143.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Bakker, J. C. (2013). Greenhouse climate control and energy use. En *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas* (pp. 63-95). FAO.
- López, A., Molina-Aiz, F. D., Valera, D. L., & Peña, A. (2016). Wind tunnel analysis of the airflow through insect-proof screens and comparison of their effect when installed in a Mediterranean greenhouse. *Sensors*, 16(5), 690. <https://doi.org/10.3390/s16050690>
- López-Marín, J., González, A., García-Alonso, Y., Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., & Real, A. I. (2007). Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain. *Acta Horticulturae*, 801, 181-186.
- Maraveas, C. (2019). Environmental Sustainability of Greenhouse Covering Materials. *Sustainability*, 11(21), 6129.
- Monci, F., García-Andrés, S., Sánchez, F., Moriones, E., Espí, E., & Salmerón, A. (2002). Tomato yellow leaf curl disease control with uv-blocking plastic covers in commercial plastic houses of Southern Spain. *Acta Horticulturae*, 633, 537-542.
- Montero, J. I., Teitel, M., Baeza, E., López, J. C., & Kacira, M. (2013). Greenhouse design and covering materials. En *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops* (pp. 35-62). FAO.
- Montero, Juan Ignacio, Stanghellini, C., & Castilla, N. (2008). Invernadero para la producción sostenible en áreas de clima de invierno suaves. *Horticultura Internacional*, 65, 14-29.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozza, G. S., Vox, G., Feuilleley, P., & Stoffers, J. A. (2000). Review paper (SE-structures and environment): radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(1), 7-38.
- Pérez Parra, J., Martínez, C. P., Garrido, J. C. G., Hernández, J. C. L., Romero, E. B., & Abad, D. E. M. (2010). Tecnología de invernaderos y control biológico: técnicas de cultivo que afectan a la

- viabilidad del control biológico en los invernaderos de Almería. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, 1, 7-26.
- Pérez Vega, C., Ramírez Arias, J. A., & López Cruz, I. L. (2016). Características aerodinámicas de mallas anti-insectos usadas en ventanas de invernaderos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 493-506.
- Pérez, C., López, J. C., Gázquez, J. C., Marín, A., & Bermúdez, M. S. (2009). Experiencias con plásticos antiplagas en cultivos de tomate y sandía. *Acta de Horticultura*, 54, 204-205.
- Rocha, G. A. O., Pichimata, M. A., & Villagrán, E. (2021). Research on the microclimate of protected agriculture structures using numerical simulation tools: a technical and bibliometric analysis as a contribution to the sustainability of under-cover cropping in Tropical and Subtropical countries. *Sustainability*, 13(18), 10433. <https://doi.org/10.3390/SU131810433>
- Tanny, J., Pirkner, M., Teitel, M., Cohen, S., Shahak, Y., Shapira, O., & Israeli, Y. (2014). The effect of screen texture on air flow and radiation transmittance: laboratory and field experiments. *Acta Horticulturae*, 1015, 45-52.
- Tantau, H.-J., Hinken, J., Von Elsner, B., Max, J. F. J., Ulbrich, A., Schurr, U., Hofmann, T., & Reisinger, G. (2012). Solar transmittance of greenhouse covering materials. *Acta Horticulturae*, 956, 441-448. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.51>
- Teitel, M. (2007). The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(3-4), 159-175. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.005>
- Teitel, M. (2010). Using computational fluid dynamics simulations to determine pressure drops on woven screens. *Biosystems Engineering*, 105(2), 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.10.005>
- Valera, D. L., Molina, F. D., & Álvarez, A. J. (2008). *Ahorro y eficiencia energética en invernaderos*. IDAE.
- Villagrán, E. A., Flores-Velázquez, J., Akrami, M., & Bojacá, C. (2021). Influence of the height in a Colombian multi-tunnel greenhouse on natural ventilation and thermal behavior: modeling approach. *Sustainability*, 13(24), 13631.
- Villagrán, E. A., León, R., Rodríguez, A., & Jaramillo, J. (2020). 3D numerical analysis of the natural ventilation behavior in a Colombian greenhouse established in warm climate conditions. *Sustainability*, 12(19), 8101. <https://doi.org/10.3390/su12198101>
- Villagrán, E. A., & Bojacá, C. R. (2019). Numerical evaluation of passive strategies for nocturnal climate optimization in a greenhouse designed for rose production (*Rosa* spp.). *Ornamental Horticulture*, 25(4), 351-364. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.V25I4.2087>
- Villagrán, E. A., & Bojacá, C. R. (2020). Study using a CFD approach of the efficiency of a roof ventilation closure system in a multi-tunnel greenhouse for nighttime microclimate optimization. *Revista Ceres*, 67(5), 345-356. <https://doi.org/10.1590/0034-737x202067050002>