

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**USO DE DIFERENTES CUBIERTAS PLÁSTICAS EN
INVERNADEROS PARA MEJORAR LOS EFECTOS DE
RADIACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO


CENTRO DE INFORMACIÓN AGOSTO 2008
03 OCT 2008

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:
USO DE DIFERENTES CUBIERTAS PLÁSTICAS EN
INVERNADEROS PARA MEJORAR LOS EFECTOS DE
RADIACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA**

PRESENTADO POR:

ING. JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

HA SIDO DIRIGIDO POR:

M.C. BOANERGES CEDEÑO RUBALCABA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO:

**USO DE DIFERENTES CUBIERTAS PLÁSTICAS EN
INVERNADEROS PARA MEJORAR LOS EFECTOS DE
RADIACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA**

QUE PRESENTA:

ING. JOSÉ NOÉ MARTÍNEZ RAMÍREZ

**HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESIDENTE
Dra. HORTENSIA ORTEGA ORTIZ

VOCAL
Dr. JUAN MUNGUÍA LÓPEZ

**ESTE CASO DE ESTUDIO FUE APOYADO POR EL PROYECTO ECO-2007-
CO1-7334 FONDO DE ECONOMIA Y EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGIA (CONACYT)**

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme dado la capacidad y la sabiduría para terminar mi Especialidad.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)**, por darme la oportunidad de seguirme formando profesionalmente.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por su apoyo económico para cursar mi Especialidad en Agroplásticos.

A **todos los maestros del CIQA**, a quienes agradezco infinitamente por transmitirme sus conocimientos y experiencias que son la base de mi formación profesional.

Al **M.C. Boanerges Cedeño Rubalcaba**, por su apoyo brindado en la realización de este Caso de Estudio, además por compartir sus conocimientos y experiencias. Muchas gracias maestro.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz**, por su apoyo y revisión del Caso de Estudio, además por compartir sus conocimientos. Muchas gracias doctora.

Al **Dr. Juan Munguía López**, por su apoyo y revisión del Caso de Estudio, además por ser un buen tutor. Muchas gracias doctor.

En especial al **Dr. Luis Ibarra Jiménez**, por todo el apoyo brindado durante mi estancia en el CIQA, además de brindarme todo su apoyo, conocimientos y su amistad incondicionalmente que me ha brindado siempre. Muchas gracias.

A la **M.C. Juanita Flores Velásquez**, por su apoyo brindado durante mi estancia en el CIQA. Muchas gracias maestra.

A **mis amigos de la Especialidad**. Lupita, Nazario, Mario, Everardo, Luis Miguel, Julio Cesar, Guillermo y Neftalí.

Dedicatorias

A mis padres:

Miguel Martínez Figueroa
María Guadalupe Ramírez Sánchez

Gracias por haberme dado el regalo mas valioso de este mundo "la vida", por haberme formado como un hombre de provecho, por el amor y cariño que siempre me han brindado, por sus sabios consejos que siempre me acompañan, por el apoyo incondicional que siempre he recibido. Que si bien no existen padres perfectos, no pude haber tenido unos mejores que ustedes. Y nunca les podré pagar lo que han hecho por mí, los quiero mucho y que Dios me los conserve más tiempo, los quiero mucho.

A mí hermana y cuñado que los considero como mis padres:

José Luis Jiménez Ramos
Adela Martínez Ramírez

No tengo palabras sinceramente para agradecerles lo que han hecho por mí, yo los considero como mis padres no saben cuanto los aprecio, quiero decirles que el ejemplo que ustedes me dieron lo seguiré sembrando, gracias por el apoyo incondicional que nunca me han negado, no pude haber tenido una hermana y un cuñado ejemplares como lo que son ustedes gracias por el cariño y afecto que ustedes tienen hacia mí, deseo que Dios los bendiga y los conserve mucho tiempo.

A mí novia:

María del Sagrario Corona Rodríguez

Aunque estando lejos de mí, siempre tuve el apoyo y la comprensión que siempre necesité. Gracias por ser una persona tan valiosa para mí, que Dios te cuide y te acompañe siempre. Te Quiero Mucho Bebita.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
Los materiales plásticos.....	1
Situación mundial.....	1
Situación en México.....	2
Importancia económica de la horticultura protegida en México.....	3
Tecnología de invernaderos.....	3
Contexto general de la producción en invernadero.....	5
Objetivos.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Historia.....	6
Los orígenes de la plasticultura.....	6
Evolución de los invernaderos en México.....	6
Historia de los invernaderos en México.....	7
Invernaderos.....	9
Ventajas e inconvenientes de producir en invernadero.....	10
Tipos de invernaderos.....	12
Diseño agronómico de los invernaderos.....	16
Elementos a considerar para el diseño agronómico de los invernaderos.....	16
Invernaderos para climas templados.....	17
Invernaderos para climas tropicales y subtropicales secos...	18
Invernaderos para climas tropicales y subtropicales húmedos.	19
Invernaderos para climas áridos extremosos.....	20
Parámetros a considerar en el control climático en invernaderos.....	21
Temperatura.....	21
Humedad relativa.....	23
Radiación solar e iluminación.....	23
a) Interacción entre la radiación solar, los plásticos y las plantas.....	25
b) Radiación fotosintéticamente activa (PAR).....	26
c) Fotosíntesis.....	27

• CO ₂	27
d) Difusión de la luz.....	27
e) Efecto de la radiación solar y la iluminación bajo invernadero.....	28
• Efecto Antivirus.....	28
• Efecto Antibotrytis.....	29
• Efecto térmico de la película.....	29
• Efecto de la radiación ultravioleta.....	31
• Efecto del infrarrojo cercano.....	33
f) Modificación de las propiedades de la superficie de la película.....	33
Principales propiedades de los plásticos para invernaderos.....	33
Materiales de cobertura para invernaderos.....	35
Vidrio.....	36
Plásticos rígidos.....	36
Polimetacrilato de metilo (PMM).....	36
Policarbonato (PC).....	37
Poliéster con fibra de vidrio.....	37
Policloruro de vinilo (PVC).....	38
Características de los Plásticos flexibles.....	39
Policloruro de vinilo (PVC).....	39
Polietileno (PE).....	40
Copolímero de etileno acetato de vinilo (EVA).....	42
Plásticos multicapa.....	43
Plásticos fotoselectivos.....	44
Principales aditivos para las cubiertas plásticas.....	45
Aditivos UV (Hals).....	45
Aditivos UV (Nickel Quenchers).....	45
Aditivos difusores.....	45
Absorbedores de luz UV.....	45
Aditivos térmicos.....	45
Agentes antiestáticos.....	46
Modificadores de la tensión superficial.....	46

Propiedades ópticas de las cubiertas para invernadero.....	47
Transmitancia.....	47
Propiedades físicas de las cubiertas para invernadero.....	47
Peso.....	48
Densidad.....	48
Espesor.....	48
Resistencia a la rotura.....	48
Envejecimiento.....	48
Propiedades mecánicas.....	49
Resistencia a la tracción.....	49
Resistencia al rasgado.....	49
Resistencia al impacto.....	49
Relación espesor-duración.....	50
III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	51
IV. AREAS DE OPORTUNIDAD.....	54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
VI. LITERATURA CITADA.....	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Horticultura protegida en México (invernaderos).....	2
Cuadro 2. Efectos de las temperaturas sobre algunos cultivos.....	22
Cuadro 3. Efecto UV sobre los insectos en el invernadero.....	32
Cuadro 4. Principales materiales para cubierta de invernaderos.....	35
Cuadro 5. Porcentajes de dilatación de algunos materiales de cubierta para invernadero.....	39
Cuadro 6. Comparativo de propiedades ópticas y mecánicas de los cuatro materiales de cubierta plásticas más utilizadas.....	43
Cuadro 7. Duración de plásticos normalizados para invernaderos.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1970: Producción de trasplantes.....	8
Figura 2. 1990's: Primeros proyectos comerciales hortalizas.....	8
Figura 3. Tipos de invernaderos.....	12
Figura 4. Invernadero casa-sombra.....	13
Figura 5. Invernadero tipo almería.....	13
Figura 6. Invernadero tipo capilla.....	14
Figura 7. Invernadero tipo túnel.....	14
Figura 8. Invernadero bi-túnel.....	15
Figura 9. Invernadero tipo dientes de sierra.....	15
Figura 10. Invernadero de cristal o tipo venlo.....	16
Figura 11. Radiación fotosintéticamente activa.....	26
Figura 12. Difusión de la luz.....	28
Figura 13. Efecto de la difusión de la luz en el desarrollo de la hoja.....	28
Figura 14. Cultivo de tomate bajo el mismo invernadero pero con películas diferentes. Lado izquierdo sin efecto antiviral y lado derecho con efecto antiviral.....	29
Figura 15. Comparativo de temperaturas externas e internas entre dos películas de invernadero.....	30
Figura 16. Bloqueo UV disminuye el ennegrecimiento.....	32

Figura 17. Comparación entre dos películas de invernadero. Lado derecho, película regular con plantas atacadas por Botrytis Cinerea y lado izquierdo, película con AV con plantas sanas.....	32
Figura 18. Lado izquierdo, película sin efecto antiniebla y lado derecho película con efecto antiniebla.....	33
Figura 19. Respuesta de la condensación del agua a diferentes niveles del aditivo antigoteo.....	47

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales plásticos

La historia de la agricultura intensiva ha estado ligada durante las últimas décadas a los avances de la industria química, tanto en materia de estructuras poliméricas, que mejoran las propiedades mecánicas y ópticas de las películas, como en aditivos, que aportan mayores duraciones y permiten combinaciones que satisfacen las necesidades específicas de cada aplicación agrícola.

Los plásticos son los principales protagonistas del nuevo escenario agrícola. Se utilizan como cubiertas para invernaderos y pequeños túneles, películas para acolchado, mallas de sombreo, bolsas para cultivos hidropónicos, tuberías de riego por goteo, láminas de impermeabilización en embalses, etc. En definitiva, son los principales responsables de la evolución y la extensión geográfica de la agricultura intensiva (Farías, et. al., 1999).

Con el incremento de la superficie cubierta por plásticos aumenta el interés por conocer más sobre las interacciones del plástico con las plantas. Se estudia el efecto de la radiación sobre los cultivos y se comienza a investigar con nuevos compuestos que actúan sobre diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Se comienza investigando a finales de los sesenta y principios de los setenta con los efectos de las modificaciones en la radiación visible, longitudes responsables de la fotosíntesis y fototropismos de las plantas. Paralelamente surgen estudios fotométricos que trabajan con las radiaciones para controlar el microclima dentro del invernadero. El resultado principal de estos estudios se traduce en la consecución de las películas térmicas que ayudan a mantener la temperatura nocturna dentro del invernadero funcionando como pantallas a las radiaciones infrarrojas emitidas por la Tierra.

Los materiales fotoselectivos levantaron muy pronto una especie de entusiasmo, empezando por la acción de la luz verde a partir de finales de los años 60, para ir hasta el control de ciertos patógenos de los invernaderos en los años 90. Estos últimos años se han desarrollado otras fórmulas fotocromáticas a fin de intensificar la fotosíntesis se ha probado la influencia de diversos pigmentos, de aditivos fluorescentes y cerámicos, etc. (Garnaud, 2000).

Situación mundial

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estima que se cultivan anualmente 52 millones de hectáreas de hortalizas, donde se considera que el 22% (12 millones de hectáreas) está relacionado con la agricultura

protegida, y de éstas, el 10% (1.2 millones de hectáreas) lo constituyen estructuras permanentes o invernaderos, del total de estas casi un millón de hectáreas, corresponde a China, Egipto, India, y otros países de Asia y de Oriente Medio, el resto se encuentran repartidas principalmente en Australia, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Israel, Italia, Japón, México, Nueva Zelanda, y los Países Bajos (De Santiago, 2008).

Situación en México

México más de 6000 has de invernadero en operación y 1700 has en construcción (cuadro 1). Además, existen entre 2,000 y 3,000 has de túneles, cubiertas de plástico y casas de malla sombra, donde se producen tomate, pepino, chile pimiento, plantas ornamentales y flores principalmente (SAGARPA, 2007).

Cuadro 1. Horticultura protegida México (invernaderos). Noviembre 2006

Región Norte-Occidente	Ha Construidas	Ha por Construir
Sinaloa	2,180	750
Baja California	1,881	403
Jalisco	788	174
Sonora	707	180
Chihuahua-Coahuila	273	104
Tamaulipas	28	
Subtotal	5,857	1,611
Región Centro		
San Luis Potosí	218	20
Morelos	135	
Aguascalientes-Zacatecas	130	21
Edo. de México	74	21
Guanajuato	70	21
Michoacán	70	14
Querétaro	56	
Hidalgo	36	5
Puebla	39	
Subtotal	828	102

Región Sur-Sureste		
Quintana Roo	60	
Veracruz	19	2
Yucatán	10	
Subtotal	89	2
Gran Total	6,774	1,715

El crecimiento de la horticultura protegida en México ha tenido un crecimiento acelerado, ya que en el año 2000 apenas se rebasaban las 1000 hectáreas en comparación con año 2007 que se reportaron alrededor de 6000 hectáreas en producción. Los estados con mayor superficie de producción de hortalizas protegidas son Sinaloa, Baja California, Jalisco, Sonora, Chihuahua y Coahuila con más del 85% y el resto pertenece a los estados en desarrollo tecnológico.

Importancia económica de la Horticultura protegida en México

1. Se calcula que el valor de las Inversiones en la horticultura (costo por hectárea) va de \$500 mil pesos hasta \$10 millones de pesos, dependiendo del nivel de tecnología desde malla sombra hasta invernaderos altamente tecnificados.
2. En el comercio internacional, el mercado más importante es Estados Unidos con el 98% de nuestras ventas y ha crecido desde el 2002 al 2006 en 300%.
3. El valor estimado de productos mexicanos exportados rebasa más de 1,000 millones de dólares.
4. Hay un crecimiento en productos hortofrutícolas que se ha dado principalmente en estados minifundistas, zona centro.
5. Hay algunos estados que han disminuido su producción, sin embargo, han surgido otros estados principalmente pequeños compensando la situación.
6. Se observa un cambio de producción extensiva a intensiva, en donde existe mayor productividad por unidad de producción (Cook, 2007).

Tecnología de invernaderos

La tecnología de producción en invernaderos permite una explotación eficiente de los cultivos ya que permite modificar las condiciones del clima, además hace posible utilizar suelos nunca antes aprovechados. Sin embargo, la diversidad de climas y los

requerimientos específicos de cada cultivo, hacen necesario que todas estas variables sean consideradas para lograr el mejor diseño de un invernadero, sin tener que hacer fuertes inversiones de recursos. Por lo tanto el mejor invernadero será aquel que permita proporcionar las mejores condiciones para lograr el objetivo para el cual fue diseñado, que puede ser, producción, conservación de recursos genéticos o investigación, entre otros (Robledo, 2003).

Un invernadero es considerado como un colector “físico” de la radiación solar, el que a su vez tiene colectores “biológicos” pequeños (las hojas de las plantas), el primero debe crear las condiciones más apropiadas para el buen desempeño del segundo (Baille, 1999; Gary y Baille, 1999). Para ello, a fin de aumentar la transmisibilidad de la radiación se han evaluado diferentes estructuras con el fin de aumentar la radiación solar incidente dentro del invernadero en latitudes medias principalmente en otoño e invierno (cuenca del mediterráneo). De tal manera que el mejor diseño debe guardar un equilibrio entre el objetivo anterior y los costos mínimos de construcción y manejo que generen el máximo beneficio al horticultor (Castilla, 2003; Castilla *et al.*, 2000).

De la superficie con invernaderos en México, predominan las cubiertas de plástico con un 59%, enseguida la malla-sombra o bioespacios con un 34%, el vidrio con un 3% y el resto un 4% corresponde a otros materiales. El principio básico de los bioespacios a diferencia de los invernaderos es reducir los problemas de alta temperatura, por ello se han establecido principalmente en el noroeste del país. El bioespacio es un concepto que conjunta prácticas agronómicas y la modificación microambiental, en zonas con alta irradiación y temperatura y baja humedad relativa, para favorecer el crecimiento y el desarrollo de las plantas (particularmente hortalizas de frutos) (Bustamante, 1997 y 2003).

En función de la procedencia se distinguen dos grupos de tecnología: 1) la procedente de España, Francia, Israel y México cuyas estructuras son simples (sombra/plástico), sin calefacción o sistemas simples, sin control del clima o algo automatizado como el sistema de riego automatizado ya sea para cultivo en suelo o en hidropónico, 2) la procedente de Holanda y Canadá con estructuras sofisticadas en plástico o vidrio donde el control de clima y el riego es totalmente automatizado con apoyo de calefacción con agua por tubería o aire, suministro de CO₂, con diversos sistemas de ahorro de energía como pantallas térmicas y aluminizadas y la producción se hace en hidropónico.

Contexto general de la producción en invernaderos

El ambiente "espontáneo" creado por los invernaderos raramente esta acorde con los requerimientos del confort fisiológico de las plantas. Así que, la intervención del hombre por medio de equipos auxiliares y fuentes de energía artificial ha sido suministrada para crear condiciones ambientales adecuadas. Esta intervención es necesaria para suplementar la energía que es usada para compensar un abastecimiento insuficiente de la energía natural en invierno o para remover la energía excesiva que entra al invernadero en verano. Este segundo caso es el peor en términos de eficiencia de energía, ya que la energía artificial es utilizada para desechar algo de la energía natural (Baille, 1999).

Aún cuando la producción de hortalizas se realiza bajo condiciones protegidas, esta presenta problemas de diversa índole como plagas y enfermedades, además de desordenes fisiológicos. Respecto a las condiciones climáticas las oscilaciones extremas de frío y calor así como los excesos de humedad son las variables a tener en cuenta (Muñoz y Castellanos, 2003). Con fundamento en las anteriores afirmaciones los objetivos del caso de estudio son los siguientes.

Objetivos

- Identificar los diferentes tipos de cubiertas para invernadero que se comercializan, sus beneficios y principales problemas.
- Describir las propiedades de las cubiertas utilizadas en invernadero y su efecto específico en la radiación, temperatura y humedad relativa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Historia

Los orígenes de la plasticultura

La técnica de producción o forzado de cultivos consigue modificar, total o parcialmente, las variables ambientales haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos.

La década de los ochenta trae consigo una mejora importante en las técnicas de transformación de películas introduciendo maquinaria más sofisticada que permita obtener películas multicapa gracias a la coextrusión.

Antes de este tiempo existen algunos antecedentes como el uso de papel celofán en 1948 por E. M. Emmert, la construcción de un invernadero de plástico en Bélgica por Charles Barón y el uso de PVC por los japoneses en 1954 (Garnaud, 2000)

Ya entrada la década de los noventa la industria evoluciona consiguiendo materiales cada vez más avanzados, recurriendo a nuevos aditivos y cargas minerales consiguiendo, en definitiva, una sinergia importante gracias a un conocimiento mayor de las interacciones de cada uno de los componentes dentro de la película. Se desarrollan formulaciones con el fin de interferir en la visión de ciertos insectos, vectores de virus dentro del invernadero, disminuir la esporulación de hongos causantes de enfermedades en las cosechas, intensificar la fotosíntesis, se experimenta con nuevos pigmentos, con aditivos fluorescentes, etc.

Las estructuras de los primeros invernaderos de plástico se basaron en los tradicionales invernaderos de cristal. El plástico se clavaba a un soporte, en la mayoría de los casos de madera. Estas estructuras se fueron adaptando a lo largo de los setenta a las necesidades de esta nueva industria, introduciendo nuevos elementos metálicos y nuevos diseños (invernaderos túnel y multitúnel). Los avances dentro de la industria y el perfeccionamiento de las técnicas de plasticultura impulsan el crecimiento de las superficies de invernaderos cubiertos por plásticos en el mundo que pasan de ser 60,000 ha en 1976 a más de 500,000 ha de finales de los noventa (Muñoz y Castellanos, 2003).

Evolución de los invernaderos en México

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es evidente, a nivel mundial, su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. En México, el uso de los invernaderos ha experimentado un auge en los últimos años, para la producción de hortalizas en gran escala, específicamente tomate y

chile entre algunos otros. Los avances en el manejo de los cultivos, tales como sustratos especiales, programas de fertilización, híbridos de alto valor y el uso de los invernaderos, han contribuido al crecimiento de la industria, al incrementar la seguridad de los cultivos, de tal forma que es posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles.

El uso de los invernaderos en México para la producción de flores, hortalizas y trasplantes se ha incrementado considerablemente, lo que permite a México estar en una buena posición para competir en los grandes mercados (Muñoz y Castellanos, 2003).

Los invernaderos en México, no son una novedad hace tres décadas iniciaron con la producción de trasplantes en Sinaloa con el modelo “Speedling”, para luego extenderse al resto del país (Urrutia, 2002). En la década de 1970 surgieron los proyectos de producción de hortalizas bajo diversas cubiertas. En la década siguiente a través de la industria de flores los invernaderos adquieren un nuevo impulso en el centro-pacífico del país (Estado de México, Morelos, Puebla, Michoacán y Colima), predominaron las estructuras tipo colombiano e israelí y solo las acompañó la tecnología para el control del riego quedando rezagada la tecnología para el control del ambiente.

En México, las grandes regiones productoras de hortalizas a cielo abierto, se ubican en el Noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), la Costa del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), la Zona Centro Norte (San Luis Potosí y Coahuila), las Huastecas (Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí e Hidalgo), etc.

En el año 2002, se estimaron 1,205 hectáreas de invernaderos en producción y 365 hectáreas en construcción; es decir, un 29% de crecimiento anual. La proyección hacia el 2005 es alcanzar las 3,000 hectáreas (Muñoz y Castellanos, 2003).

Historia de los invernaderos en México

- **1970's:** producción de plántula para trasplantes, comienza en Sinaloa extendiéndose al resto de México (figura 1).
- **1970-1980:** proyectos de producción de hortalizas bajo diversas cubiertas.
- **1980:** crecimiento de industria de flores promueve entrada de diferentes tipos de estructuras (tipo colombiano e israelí) y tecnologías (control de riego y no ambiental):
 - Estado de México
 - Morelos
 - Puebla
 - Michoacán

- Colima

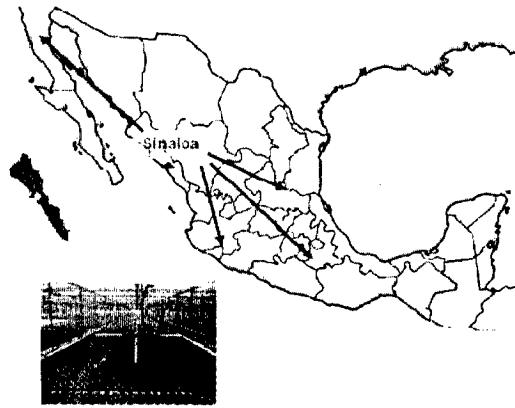


Figura 1. 1970: Producción de transplantes.

- **1985-1990:** primeros proyectos comerciales de producción de vegetales en Sinaloa bajo estructuras simples de sombra y plástico:

- Pepino europeo.
- Tomate.
- Pimiento.

- **1990's:** establecimiento de varios proyectos con tecnologías israelíes, holandesas, españolas y canadienses, adaptados a condiciones diversas y con diversos grados de éxito (figura 2):

- De Saracho
- Campus
- Dessert Glory
- Otros



Figura 2. 1990's: Primeros proyectos comerciales hortalizas.

- Proyectos iniciales cerca de las costas.
- Movimiento de proyectos a elevaciones más altas.

- Mejores sistemas, tecnologías de producción:
- Controles computarizados de clima, sistemas de calefacción, sistemas de riego por goteo e hidroponía
- Una amplia gama de tecnologías (Molina, 2004).

Invernaderos

El concepto de invernaderos es posible definirlo como; una estructura cubierta con materiales transparentes, de al menos de 3m³ de aire por cada m² de superficie cubierta que permite proporcionar las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Robledo, 2003). El “invernadero de cubierta hinchable” y los numerosos prototipos experimentados acá y allá, especialmente entre 1985 y 1990 puede que parezcan utópicos, pero son ricos en enseñanzas.

La “crisis del petróleo” de 1973 estimuló de forma paradójica la utilización de plásticos en los invernaderos, incluso en los invernaderos de cristal. Se despliegan por doquier grandes dosis de inventiva para ahorrar energía, aislar mejor el invernadero optimizando el clima. Se conciben invernaderos de doble pared o triple pared. Se imaginan sistemas de calefacción solar o de calefacción utilizando pantallas térmicas (Garnaud, 2000).

Con la llegada de los materiales plásticos se constituyeron tres grandes vías de evolución de esta tecnología, en función del grado de protección de los cultivos (López y Zapata, 2000):

a) En primer lugar, continúa con el invernadero tradicional de estructura y cubierta de material rígidos. Se mejora el microclima dotándolo de medios activos para su control con sistemas de calefacción, ventilación, iluminación, inyección del anhídrido carbónico, gobernado por medios automáticos. Por lo general, este tipo de estructuras se utiliza en zonas frías o se construyen para el cultivo de plantas de alto valor o para investigación.

b) En segundo lugar, en zonas templadas comienza la construcción de invernaderos que utilizan para su cerramiento materiales flexibles, no permanentes, lo que admite soportes estructurales más ligeros. Estos representan, respecto a los de material de cerramiento rígido, mayores ventajas técnicas y económicas, derivadas de la flexibilidad de los materiales de cerramiento y de su menor peso, permitiendo unas estructuras más económicas. En algunos casos, para mejorar su microclima, se les dota de calefacción y de iluminación.

c) **En tercer lugar**, la tecnología de invernaderos la constituyen estructuras de bajo costo de inversión, realizadas artesanalmente con materiales poco elaborados. Estos invernaderos se caracterizaban por mejorar su microclima de forma pasiva, actuando como captadores solares, con lo que consiguen aumentar la integral térmica en su interior.

Ventajas e inconvenientes de producir en invernadero

Como ventajas técnicas de producir en invernaderos bien diseñados y/o equipados desde la perspectiva agronómica, se destacan las siguientes:

- Posibilidad de evitar bajas temperaturas y/o heladas en el interior.
- Posibilidad de evitar altas temperaturas en el interior.
- Controlar la cantidad, calidad y dispersión de la radiación (ultravioleta, visible e infrarroja).
- Controlar la humedad edáfica y las enfermedades provocadas por las precipitaciones en exceso, al evitar su entrada.
- Evitar los daños por granizadas y vientos.
- Controlar la humedad relativa y los déficits de presión de vapor que pueden afectar negativamente el rendimiento y la calidad de las plantas.
- Controlar los niveles de CO₂ del aire dentro del invernadero.
- Evitar las plagas al utilizar el invernadero como una barrera física que impida su paso al interior.
- Disminuir la incidencia de enfermedades al evitar el mojado de las plantas por la lluvia, las “heridas” que provoca el viento y las plagas que actúan como vectores.

Las ventajas técnicas de producir bajo invernadero se traducen en ventajas económicas cuando se manejan especies de cultivo con alto valor en el mercado pues:

- Se logran muy altos rendimientos por unidad de superficie en cada ciclo al evitar o disminuir el estrés de los factores climáticos adversos, y cuando se trata de especies de alto valor económico se generan ingresos que pronto superan los costos de instalación y operación generando importantes utilidades económicas por unidad de superficie y tiempo.
- La calidad y sanidad de los productos obtenidos es muy alta comparada con los productos obtenidos a cielo abierto lo que promueve la preferencia de los consumidores y con ello ganancias adicionales.
- Se pueden programar los periodos de cosecha para cuando el mercado ofrece los mejores precios al productor ya sea porque hay escases del producto por condiciones adversas o por

una excesiva demanda en ciertas fechas. Incluso se han desarrollado sistemas de cultivo para ciertas especies consideradas indeterminadas (por ejemplo jitomates y pepinos) que permiten concentrar la producción de un ciclo en un período corto de tiempo.

- El riesgo de pérdidas importantes en la cosecha es mínimo al tener un alto grado de control de los factores ambientales (Sánchez, 2007).

Inconvenientes

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos (Villarreal, 2005).

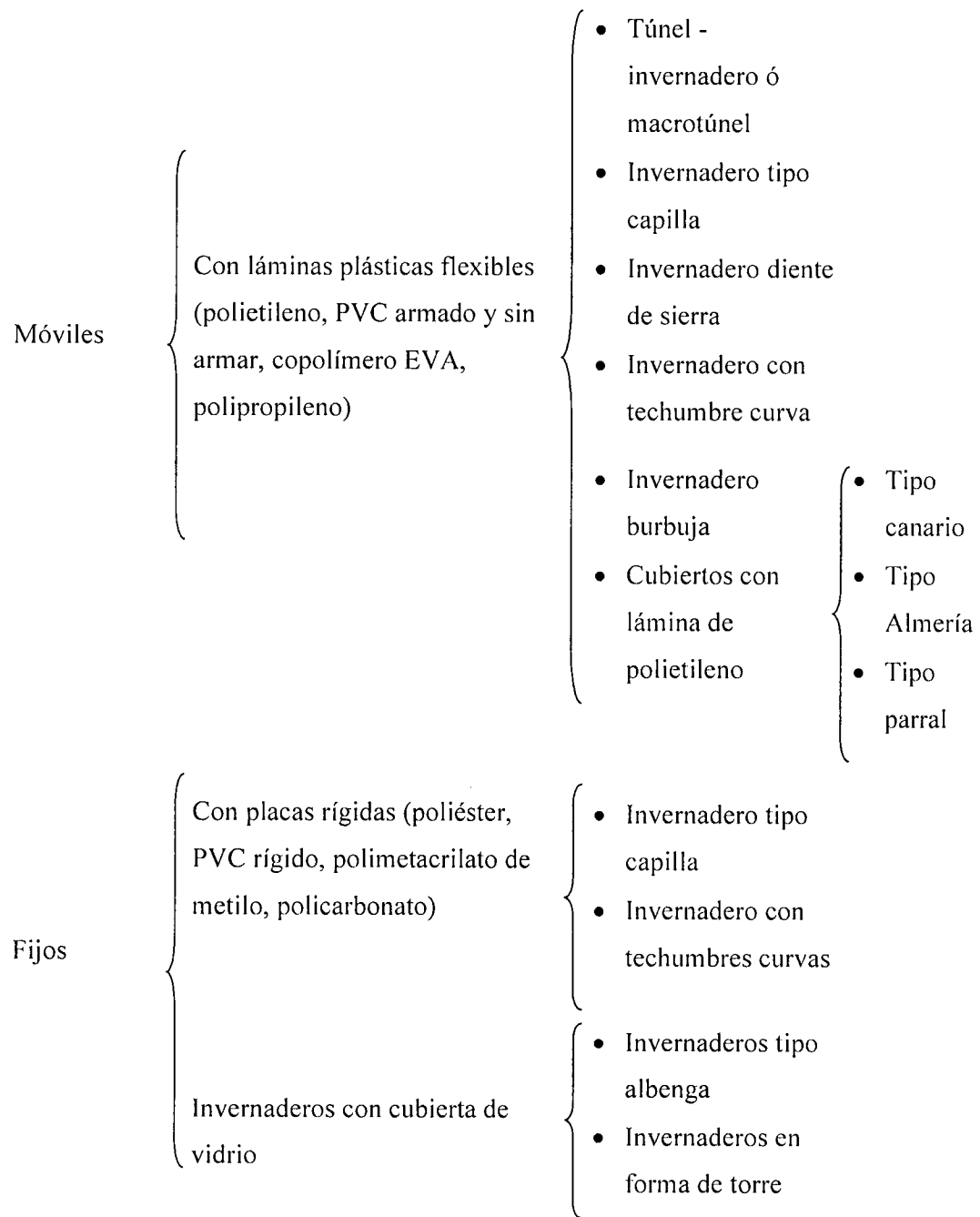


Figura 3. Tipos de invernaderos (Villarreal, 2005).

Tipos de invernaderos

Invernadero casa-sombra

Esta estructura tiene la característica de no ser hermético, ya que el material de cobertura y de las paredes laterales es una malla la cual, protege a los cultivos de condiciones climáticas adversas. Este tipo de estructura se utiliza en regiones con altas radiaciones solares pero con escasas o nulas precipitaciones (figura 4).

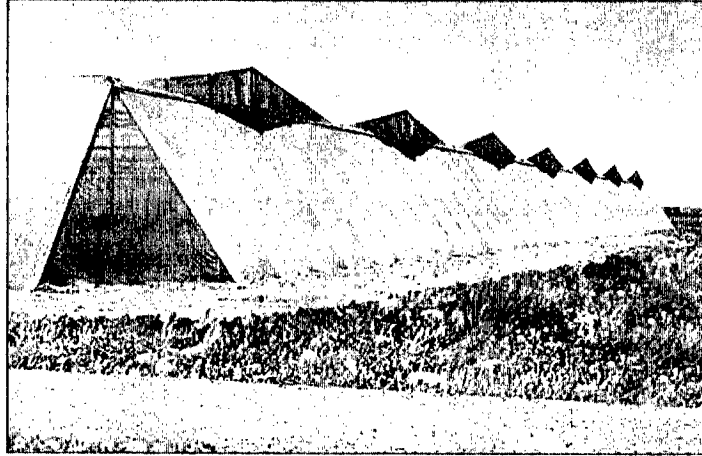


Figura 4. Invernadero casa-sombra.

Invernadero tipo almería

Este tipo de estructura tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos, además de que en periodos de lluvias disminuye la humedad interior y además la estructura permite instalar ventilación cenital en la cumbrera del invernadero. Pero hay diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero, esto se debe a la posición del sol y al contar con mayor superficie en contacto con el viento se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta (figura 5).



Figura 5. Invernadero tipo almería.

Invernadero tipo capilla

La pendiente del techo en este tipo de invernadero es importante ya que da las propiedades a la estructura, la pendiente esta en función de la cantidad de radiación recibida pero principalmente de la precipitación presente en la región. Este tipo de invernadero tiene una ventilación lateral la cual es suficiente para eliminar los excesos de temperatura y humedad relativa (figura 6).

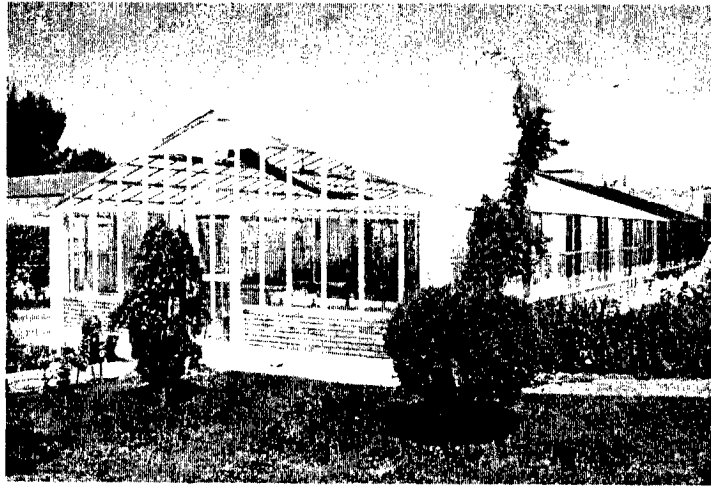


Figura 6. Invernadero tipo capilla.

Invernadero tipo tunel

El invernadero tipo túnel tiene un buen reparto de la luminosidad en el interior, por lo que se recomienda para regiones poco soleadas, además de que algunas estructuras permiten la instalación de ventanas laterales y frontales las cuales ayudan a mantener la temperatura y la humedad en niveles óptimos para los cultivos (figura 7).

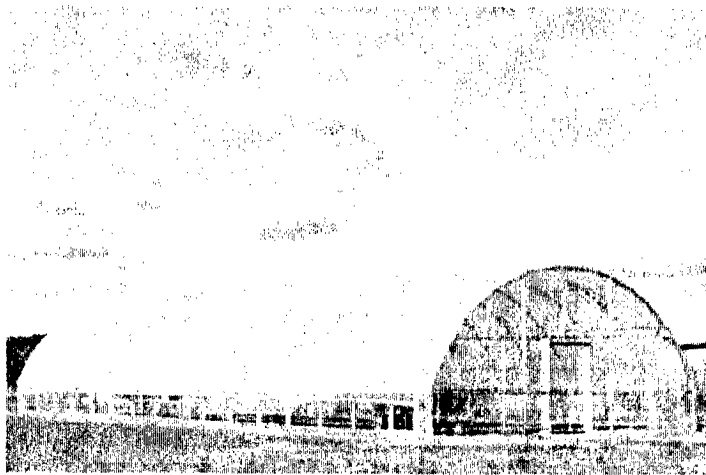


Figura 7. Invernadero tipo túnel.

Invernadero bi-túnel

Estas estructuras tienen buena capacidad de distribución de la luminosidad, además de contar con buena cantidad de volumen de aire, el cual ayuda a amortiguar las altas temperaturas (figura 8).

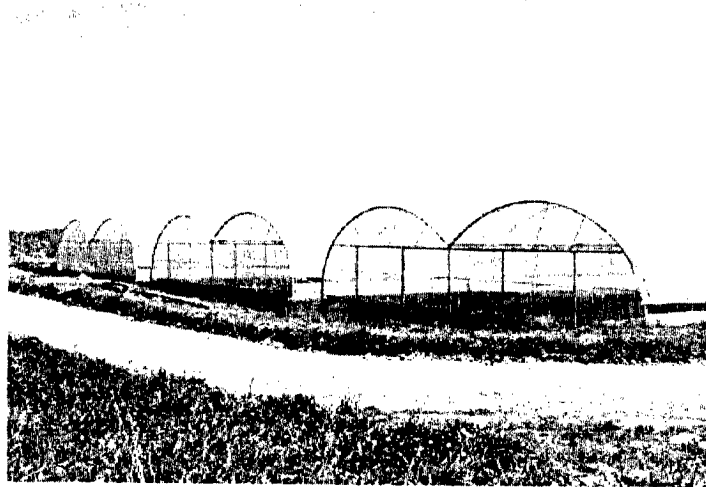


Figura 8. Invernadero bi-túnel.

Invernadero tipo diente de sierra

La inclinación de las vertientes debe disponerse hacia el mediodía, con el fin de que penetre la mayor radiación posible y luminosidad para el buen desarrollo de los cultivos. La ventilación en este tipo de invernadero es excelente, ya que se pueden construir ventanas laterales y cenitales, manteniendo la temperatura a niveles deseables para el desarrollo de los cultivos (figura 9).

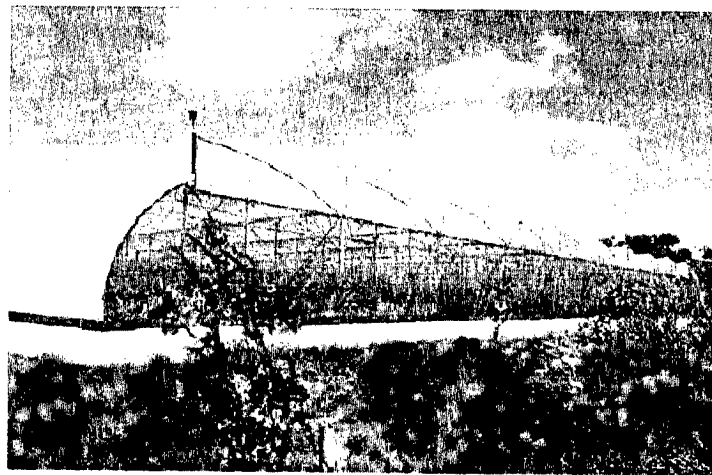


Figura 9. Invernadero tipo dientes de sierra.

Invernadero de cristal o tipo venlo

Esta estructura es la que tiene el mejor comportamiento térmico (debido al material de cubierta), además de contar con una buena hermeticidad, lo que facilita una mejor climatización. Aunque la abundancia de elementos estructurales implica una reducción de la transmisión de luz (figura 10).

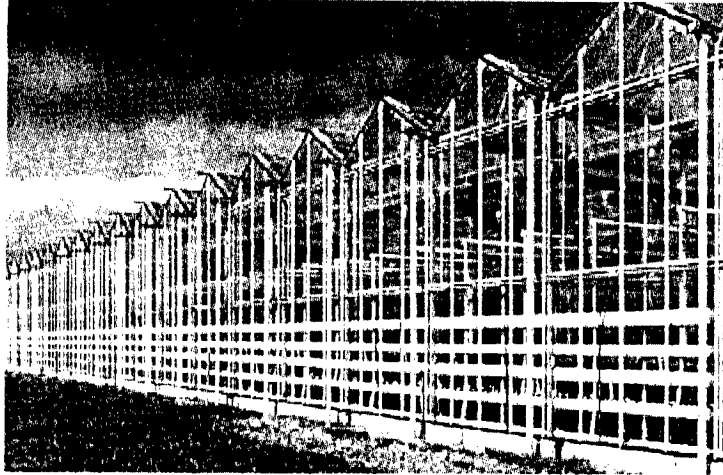


Figura 10. Invernadero de cristal o tipo venlo (Villarreal, 2005)

Diseño agronómico de los invernaderos

El objetivo del diseño agronómico de los invernaderos es definir los materiales de cubierta, el tamaño, la forma, la orientación y otras características que estos deben tener en la localidad donde se pretendan establecer, para lograr las mejores condiciones climáticas para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos que crezcan en su interior, pero buscando el mayor nivel de rentabilidad económica posible. Se basa entonces en el conocimiento de las condiciones climáticas predominantes en la localidad y en la aplicación de estrategias tecnológicas apropiadas para hacer que dentro del invernadero dichas condiciones se modifiquen para quedar dentro del rango que garantice el funcionamiento óptimo del cultivo para su mejor crecimiento y máximo rendimiento y calidad (Sánchez, 2007).

Elementos a considerar para el diseño agronómico de los invernaderos

El diseño agronómico de invernaderos está basado en un proceso de toma de decisiones basadas en los siguientes criterios o elementos:

- Definición del o los cultivos a establecer
- Definición del sistema de cultivo
- Definición calendarizada de los ciclos de cultivo

- Temperaturas mínimas, medias, máximas y extremas mensuales en la localidad
- Frecuencia, duración e intensidad de heladas por mes en la localidad
- Dirección, frecuencia e intensidad del viento por mes en la localidad
- Humedad relativa mínima, media y máxima por mes en la localidad
- Irradiación o luminosidad diaria en la localidad (promedio mensual)
- Días soleados, medio nublados y nublados por mes
- Precipitación mensual en la localidad
- Días con neblina, con granizo, con vientos > 50 km/hora al año en la localidad
- Latitud y altitud.

El diseño agronómico de los invernaderos es específico para cada caso y para cada localidad, pero se pueden hacer aproximaciones preliminares de diseño para un cierto cultivo en localidades representativas de climas específicos (Sánchez, 2007).

Invernaderos para climas templados

Para un nivel tecnológico, el diseño de los invernaderos contemplaría aspectos como:

- Uso de polietileno térmico de alta dispersión de luz, tricapa con efecto antigoteo o doble capa con el interior térmico.
- Malla antiáfidos en ventanas con cortinas que cierren lo más herméticamente posible y reforzado de la base perimetral.
- Invernaderos tipo diente de sierra (líneas rectas o curvas) con ventanas cenitales opuestas a los vientos dominantes, con cortinas para cierre hermético.
- Con apertura y cierre de cortinas laterales y cenitales motorizado y activado por sensores de temperatura, humedad relativa y viento.
- Anchos no mayores de 60 metros con más de 25% de área de ventanas (laterales y cenitales) en relación a la superficie cubierta (se pueden añadir ventanas frontales).
- Mallas móviles con 40 a 50% de sombra en el exterior o pantallas térmicas automatizadas en el interior; en ambos casos movidas por motores arrancados por sensores de temperatura.
- Materiales con resistencia suficiente a vientos máximos en la región y a la carga por tutoreo ($> 25 \text{ kg/m}^2$).

- Altura a cumbre al menos 2m mayor a la máxima alcanzada por el cultivo para el cual se diseña y de ventanas laterales con altura igual a la máxima del cultivo.
- Doble puerta de acceso con tapete sanitario y lavamanos con solución desinfectante, uso de batas, sistema de trapeo de plagas, etc.
- Eventualmente usar barrera rompevientos y rompevientos al norte del invernadero para contrarrestar vientos fríos o, al menos doble cortina con espacio de aire entre ellas en el lado norte del invernadero.
- Calefacción automática directa o con liberación de gases de combustión al exterior apoyada eventualmente por las pantallas térmicas, manejada con termostatos y/o sensores de humedad relativa.
- Sistemas con sustratos hidropónicos y soluciones nutritivas proporcionadas con inyectores automatizados y sectorización del riego con válvulas solenoides (Sánchez, 2007).

Invernaderos para climas tropicales y subtropicales secos

Para un nivel tecnológico, el diseño de los invernaderos contemplaría aspectos como los siguientes:

- Uso de polietileno en doble capa con infladores, una capa parcialmente pigmentada de color blanco lechoso con 20 a 30 % de sombra invernaderos tipo diente de sierra (líneas rectas o curvas), arcos góticos o tipo colombiano con ventanas cenitales contrarias a los vientos dominantes.
- Malla antiáfidos en ventanas.
- Ventanas laterales y cenitales orientadas perpendicularmente a vientos dominantes con apertura y cierre de cortinas motorizado y activado por sensores de temperatura, humedad relativa y viento.
- Uso de paredes húmedas y extractores con ancho (o largo) de invernadero no mayor de 40 metros, en cuyo caso las ventanas dejadas deben tener cortinas para cerrar herméticamente cuando funcionen los extractores.
- Alternativamente se puede usar un sistema de nebulización de alta o baja presión según la calidad del agua con sensores de temperatura y/o humedad relativa.
- Con malla sombra o cubierta parcialmente reflectora-difusora móvil motorizada en el exterior accionada por sensores de luz y temperatura.

- Se debe contar con una planta de energía eléctrica de emergencia.
- Sistemas con sustratos hidropónicos y soluciones nutritivas proporcionadas con inyectores automatizados y sectorización del riego con válvulas solenoides.

Alternativamente podría construirse un "bio-espacio" con techos y laterales cubiertos con malla antiáfidos de color blanco lechoso para provocar reflexión y bajar insolación y temperatura a la vez que se logra un escudo anti-plagas. Los techos serían a dos vertientes, rectos o curvos. En el interior se colocaría un sistema de microaspersión para aumentar humedad relativa bajar temperatura y bajar déficit de presión de vapor. El riego sería igual que en el caso anterior (Sánchez, 2007).

Invernaderos para climas tropicales y subtropicales húmedos

Para un nivel tecnológico, el diseño de los invernaderos contemplaría aspectos como los siguientes:

- Uso de polietileno normal transparente (menos de 15% de sombra) acompañado de una malla sombra o tela difusora externa móvil controlada por sensores de luz
- Invernaderos tipo diente de sierra rectos o curvos o tipo colombiano, con ventanas laterales, frontales y cenitales grandes con mallas antiáfidos y con cortinas solo para los nortes.
- Anchos no mayores de 20 a 30 metros y largos no mayores de 40 a 50 m con más de 30% de área de ventanas en relación con la superficie cubierta.
- Techos volados y ventanas cenitales inclinadas hacia el interior a modo de evitar la caída o salpicada de agua de lluvia en el interior del invernadero.
- Inclinaciones pronunciadas en los techos (más de 20°) para que el agua de condensación escurra y no caiga sobre las plantas.
- Materiales con resistencia suficiente a vientos máximos en la región (a veces huracanados) y a la carga por tutoreo (20 a 25 kg/m²).
- Colocar barrera rompevientos cerca de los invernaderos en el lado norte y/o perpendicular a los vientos más fuertes.
- La pared que da al norte puede aislarse en el invierno con una doble capa de plástico, lona blanca de polipropileno o hasta con paneles de poliestireno espumado (unicel).

- Uso de ventiladores de alto flujo y poca velocidad para mantener seco el follaje, ya que por la alta humedad relativa se pueden producir condensaciones de humedad conducentes a enfermedades fungosas y bacterianas.

Alternativamente se puede considerar un invernadero retráctil, en donde el techo y las paredes laterales cuenten con una capa de malla antiáfido permanente y el techo con una segunda capa de polietileno de alta dispersión de luz que se cerraría parcialmente con alta insolación mediante sensores de luz o herméticamente con lluvia.

Se sigue considerando el uso de ventiladores de alto flujo y poca velocidad para mantener seco el follaje y los otros aspectos de diseño (techos volados, dimensiones, área de ventanas, etc.) (Sánchez, 2007).

Invernaderos para climas áridos extremosos

Para un nivel tecnológico, el diseño de los invernaderos contemplaría aspectos como los siguientes:

- Uso de polietileno en doble capa con infladores, una capa térmica y de alta dispersión de luz, y la otra parcialmente pigmentada.
- Invernaderos tipo diente de sierra (líneas rectas o curvas) o arcos góticos con ventanas cenitales contrarias a los vientos dominantes.
- Con resistencia suficiente a vientos máximos en la región y a la carga por tutoreo (25 a 30 kg/m²).
- Malla antiáfidos en ventanas.
- Ventanas laterales y cenitales orientadas perpendicularmente a vientos dominantes con apertura y cierre de cortinas motorizado y activado por sensores de temperatura, humedad relativa y viento.
- Uso de paredes húmedas y extractores con ancho (o largo) de invernadero no mayor de 40 metros, en cuyo caso las ventanas deben tener cortinas para cerrar herméticamente cuando funcionen los extractores.
- Alternativamente se puede usar un sistema de nebulización de alta o baja presión según la calidad del agua con sensores de temperatura y/o humedad relativa.
- Mallas móviles con 40 a 50% de sombra en el exterior o pantallas térmicas automatizadas en el interior. En ambos casos movidas por motores automatizados por sensores de temperatura (Sánchez, 2007).

Parámetros a considerar en el control climático en invernaderos

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte (Alpí y Tognoni, 1999).

Temperatura

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 15 y 25° C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y las limitaciones de la especie cultivada (cuadro 2). Así mismo, se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivos a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc. (Baixauli, 1996).

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una longitud de onda entre 0.2 y 0.4 μm , la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales.

El calentamiento del invernadero se produce cuando en la región del infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de la cubierta se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero.

El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo

y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente (Matallana y Montero, 1995).

Cuadro 2. Efecto de la temperatura sobre algunos cultivos.

Temperatura en el invernadero	Efecto que produce en las plantas	Temperatura °C		
		Pepino	Berenjena	Tomate
Mínima	<ul style="list-style-type: none"> - Los procesos de asimilación y desasimilación alcanzan una intensidad mínima. - Las plantas ya no crecen más. - La prolongación del tiempo de duración de la temperatura mínima debilita a la planta. - La temperatura inferior a este nivel conduce a la planta a una decadencia progresiva. 	12	14	8
Óptima	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente. - Con la temperatura óptima la planta se desarrolla y fructifica adecuadamente. - El nivel de temperatura depende del origen de la especie. 	25-25	25-32	25-30
Máxima	<ul style="list-style-type: none"> - Los procesos de asimilación y desasimilación son excesivos - Las plantas no crecen más. - La superación de la temperatura óptima conduce a: <ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la asimilación. - Agotar las plantas. - La muerte de la planta 	40	38	36

Humedad relativa (HR)

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, la HR aumenta. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: el tomate, el pimiento y la berenjena se desarrollan bien con una HR sobre el 50 y 60%; el melón, entre el 60 y 70%; el calabacín, entre el 65 y 80% y al pepino entre el 70 y 90% de HR.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los problemas comunes de mal cuaje.

El exceso de la HR puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, llenando canalillas o balsetas de agua, pulverizando agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 m es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR (Baixauli, 1996).

Radiación solar e iluminación

La luz solar es un factor primordial en la vida de las plantas ya que sin ella éstas no pueden realizar la fotosíntesis mediante la participación de la clorofila, el CO₂ atmosférico y la humedad del suelo y sus nutrimentos.

En el invernadero la energía básica es la radiación solar, por lo tanto la cubierta de un invernadero debe tener ciertas características que permitan la máxima transparencia de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) a los cultivos en desarrollo.

La energía emitida por el sol llega a la superficie de la tierra en forma de radiación electromagnética. Esta se puede dividir en tres intervalos de longitud de onda, de 0.02 a 0.4 μm , radiación ultravioleta, de 0.4 a 0.7 μm , espectro visible, que se descompone en diferentes colores desde el azul a 0.4 μm , el violeta, verde a amarillo, naranja hasta el rojo a 0.7 μm , que al parecer tienen diferentes efectos en los procesos fisiológicos de los

cultivos, desde inhibitorios hasta promotores y por último la radiación infrarroja de 0.7 a 3 μm .

La radiación ultravioleta es aproximadamente el 3% de la radiación solar al nivel del mar y el resto de la energía se reparte al 50% entre la radiación visible y el infrarrojo.

Tradicionalmente se ha admitido que las plantas responden a la radiación visible, aunque con distintas intensidades según la banda del espectro. La radiación ultravioleta como la infrarroja afectan en mayor o menor grado el desarrollo de las plantas, directamente en procesos sensibles a la luz o indirectamente al alterar la temperatura de los tejidos.

El valor de la radiación fotosintéticamente activa (50% de la radiación solar total) tiene pequeños incrementos si predomina la radiación difusa y disminuciones si prevalece la luz directa.

El material de la cubierta altera las características cualitativas de la radiación solar, respecto del exterior en lo que se refiere a su composición espectral, así como su característica cuantitativa (cantidad de radiación en el interior). El mayor poder de difusión de la luz de un material, es una cualidad positiva al ser más efectiva para la fotosíntesis, pues la luz difusa no es direccional y penetra mejor entre la vegetación causando un crecimiento de las plantas en todas las direcciones y niveles, esto no ocurre con la luz directa que promueve en mayor medida el crecimiento de los puntos terminales, causando una elongación de la planta pero disminuyendo sus crecimientos laterales.

La radiación solar es parcialmente absorbida por el suelo, las plantas y objetos dentro del invernadero y es convertida en energía térmica e irradiada al ambiente, en donde es empleada en la evapotranspiración o disipada por convección y conducción.

El material de cubierta debe transmitir la mayor cantidad de radiación solar (0.3 a 3 μm) y la menor cantidad de radiación térmica en la región del infrarrojo largo (7 a 14 μm) para crear un buen efecto en el invernadero. La condensación del vapor de agua en el material de la cubierta, efecto más común en las películas de polietileno reduce la transmisión de la radiación térmica (pérdida de calor), pero este efecto puede crear problemas de fungosis en el follaje de los cultivos.

Según el material de cubierta usado, permite tener una radiación solar interior desde el 93% con el polimetacrilato de metilo hasta del 70% con película de polietileno, respecto al exterior con oscilaciones según los meses, desde 55 a 80% para las películas de polietileno, aunque en las zonas peor orientadas del invernadero pueden ser aún menores.

Estos valores además se ven influenciados por la suciedad de la cubierta y la pendiente de la misma.

La limitación de la iluminación (radiación) dentro de un invernadero causado por el uso de dobles películas o encalados puede influir negativamente en épocas de baja radiación en cultivos exigentes en iluminación.

En un invernadero con cubierta de polietileno, sencilla y doble la diferencia de radiación dentro de los invernaderos es del 10 al 15% medida al medio día en días despejados.

Por otro lado, la orientación del invernadero a la trayectoria de la radiación solar tiene influencia en la cantidad de luz recibida en los diferentes puntos del mismo. En los invernaderos orientados de Este a Oeste, el recorrido del sol en los meses de invierno hace que la cara sur reciba aproximadamente un 15% más energía solar que la cara Norte, si además este invernadero tiene doble cubierta el efecto en la reducción en la cara Norte será aún mayor.

La reducción en la transmitancia de la luz es importante, se ha comprobado que las producciones invernales de pepino holandés en los lados Sur de los invernaderos pueden llegar a ser el doble que los del lado norte y como se ha establecido que la diferencia de temperatura ambiental en ambos lados es muy pequeña, se deduce que la disminución de la radiación solar es la causa principal de la menor producción en el lado Norte del invernadero (Bretones, 1990).

a) Interacción entre la radiación solar, los plásticos y las plantas

Toda materia que no se encuentra a una temperatura infinita *emite* dos radiaciones térmicas (**ley de Stefan-Boltzmann**). Estas radiaciones se originan a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie más baja por la que fluyen, la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m²) se denomina la *potencia emisiva superficial* E . Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por esta ley:

$$Eb = \sigma \cdot T_e^4$$

Donde T_e es la temperatura efectiva o sea la temperatura absoluta de la superficie y sigma es la **constante de Stefan Boltzmann**:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Dicha superficie se llama radiador ideal o *cuerpo negro*.

Así, el sol cuya superficie esta a unos 6000°C emite enormes cantidades de energía en forma de radiación. Parte de la cual llega a la Tierra, principalmente en forma de radiación ultravioleta, visible e infrarrojo cercano.

Esta radiación provoca el calentamiento de la Tierra que, al tener una temperatura menor que el sol, emite radiación en mayores longitudes de onda (infrarrojo lejano). Este fenómeno trae como consecuencia el enfriamiento nocturno de la Tierra.

Las películas plásticas de cubierta de invernadero funcionan como filtros dejando pasar de una forma selectiva cada una de las radiaciones diferentes tipos en función de las características del material empleado (Arbolí, 2000).

b) Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

El subintervalo comprendido entre 0.4 y 0.7 micrómetros (400-700nm), 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*) (figura 11). Los agentes responsables de la absorción de luz que realiza la planta son los pigmentos clorofílicos y los carotenoides que se encuentran situados en los cloroplastos de las células fotosintéticas que están en las hojas. Los primeros representan un 11 % de la masa celular (70% de clorofila A y 30% de clorofila B) y los segundos tan solo un 1%, pero su presencia es imprescindible ya que actúan como estabilizantes de la clorofila frente al oxígeno formado en la ruta sintética (Forti, 1996).

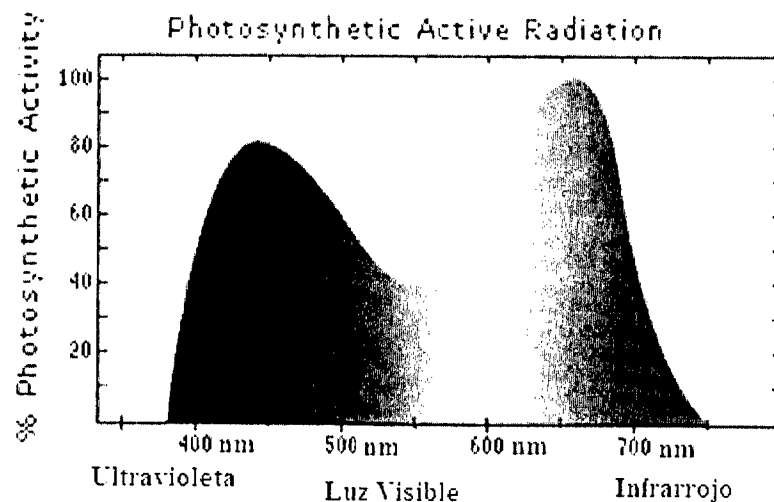


Figura 11. Radiación fotosintéticamente activa.

c) Fotosíntesis

Si están satisfechos otros requerimientos de las plantas (agua, CO₂, temperatura, nutrientes, etc.) la cantidad de materia orgánica formada dependerá de la radiación fotosintéticamente activa (que como hemos comentado esta contenida dentro de la fracción de la radiación conocida como luz visible) que recibe la planta. Así, a mayor cantidad de luz más cosecha. Hasta un límite que dependerá de la especie y la variedad de la planta (Arbolí, 2000).

- **CO₂**

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0.03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0.1-0.2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0.3% resultan tóxicas para los cultivos (Lorenzo et al., 1997).

Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un óptimo distinto.

El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y aumento de los rendimientos en un 25-30%, mejora la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

Sin embargo, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad (Vilarnau, 1997).

d) Difusión de la luz

La radiación proveniente del sol se divide en tres tipos básicos: Ultravioleta, Visible e Infrarroja. La función de las diferentes cubiertas es que el haz de luz visible, que incide de manera directa, se rompa en haces más pequeños (difusión) y que se distribuya por toda el área (figura 12), minimizando las sombras, para que la luz llegue de manera uniforme a todas las zonas del invernadero. Como resultado de esto, tenemos que todas las

hojas del cultivo reciben cantidades similares de energía lumínica y trabajan de manera más homogénea en el proceso de la fotosíntesis (figura 13). Por otro lado, durante las horas de máxima iluminación y calor hay más fotosíntesis en las plantas, con un mayor aporte de vapor de agua al ambiente, como resultado de este trabajo. La temperatura máxima debajo de las películas plásticas difusas es menor que en películas plásticas convencionales, en las mismas condiciones de observación, debido a los factores tratados anteriormente (Waldo, 2005).

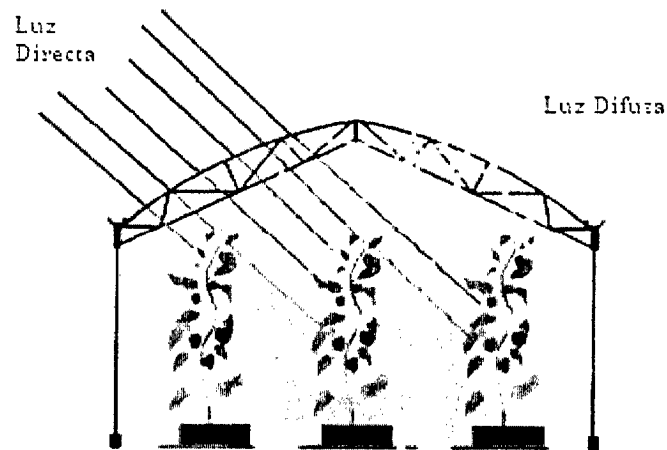


Figura 12. Difusión de la luz.

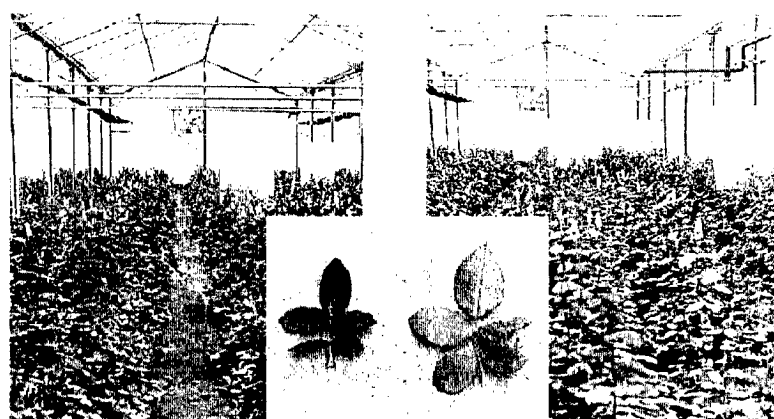


Figura 13. Efecto de la difusión de la luz en el desarrollo de la hoja (Villarreal, 2007).

e) Efectos de la radiación solar y la iluminación bajo invernadero.

- **Efecto Antivirus**

Se ha constatado que los tomates cultivados bajo invernaderos cubiertos con láminas foselectivas absorbentes de radiaciones UV, se encuentran ampliamente protegidos contra las invasiones de la mosca blanca *Bemisia tabaci* y como consecuencia

de ello contra el virus TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus o "virus de la cuchara") del cual es vector esta mosca, estos cultivos se encuentran igualmente protegidos contra el minador de hojas *Lyriomyza trifolii* (figura 14).

Una alternativa al control de enfermedades transmitidas por los insectos dentro del invernadero es el empleo de cubiertas de plástico fotoselectivas que bloquean ciertas longitudes de onda dentro del espectro UV (0.28- 0.39 μm) (www.infoagro.com).

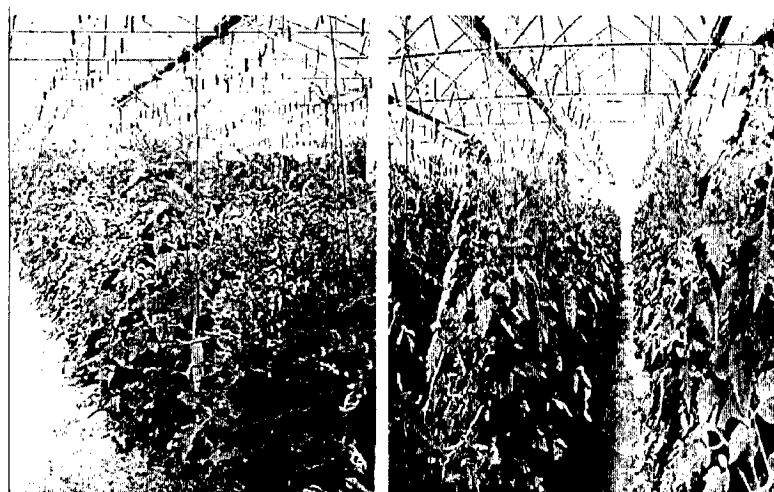


Figura 14. Cultivo de tomate bajo el mismo invernadero pero con películas diferentes. Lado izquierdo sin efecto antiviral y lado derecho con efecto antiviral (Villarreal, 2007).

- **Efecto Antibotrytis**

La producción de esporas, la viabilidad y el crecimiento están condicionados por factores como la luz, la humedad y la temperatura. Si se rompe el ciclo de desarrollo se distorsiona su expansión. La radiación UV-b incide sobre la esporulación de *Botrytis cinerea* y otros hongos, de igual forma que la luz monocromática azul inhibe este proceso (www.infoagro.com).

- **Efecto térmico de la película**

Las películas térmicas para invernaderos son aquellas que son capaces de permear las radiaciones de longitud de onda larga que calientan el invernadero durante el día e impermear las radiaciones IR ($>0.65 \mu\text{m}$) emitidas durante la noche por el suelo y las mismas plantas dentro del invernadero. Los absorbentes de la luz infrarroja, se utilizan en películas para invernadero que son usadas en localidades con cambios drásticos en la temperatura entre el día y la noche (Waldo, 2005). El fin para el cual las cubiertas térmicas fueron diseñadas, es el de conservar el aire y principalmente las plantas, unos grados de

temperatura por arriba de la temperatura ambiente, en la noche, en función de su condición de malas conductoras de calor y así lograr mantener el follaje seco las 24 horas del día, con beneficios fitosanitarios y de producción. Se dice que una cubierta es térmica cuando ésta es impermeable al calor mínimo en un 75% (Bekhor, 2007). Si una estructura no tiene una cubierta térmica, esta estructura no se puede decir que sea un verdadero invernadero, sino sólo una protección a la planta.

Con una mayor temperatura y el mejor aprovechamiento de la luz que entra en el invernadero se obtienen cosechas más precoces, mayores producciones, y un ahorro considerable de energía cuando se usa calefacción (Arbolí, 2000).

La Figura 15 muestra un comparativo de temperaturas externas e internas en una película para invernadero de 175 µm de espesor con y sin adición del 10% del absorbedor de IR PBA IR1515. En esta gráfica se aprecia claramente que la adición del aditivo puede promover una diferencia de temperatura interna-externa hasta de 5°C durante la noche, y manteniendo básicamente la mayor diferencia entre la temperatura interna-externa durante el día. Otro efecto importante de algunos aditivos absorbedores UV es que adicionalmente favorecen la difusión de la luz total que incide en el invernadero, disminuyendo la luz directa. Lo anterior es una modificación del tipo mayoritario de luz incidente que favorece notoriamente el desarrollo de la planta dentro del invernadero (Olivera, 2003).

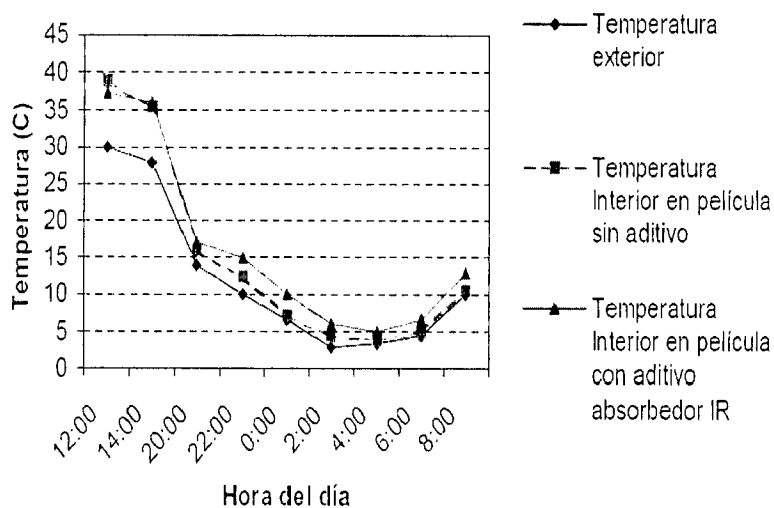


Figura 15. Comparativo de temperaturas externas e internas entre dos películas de invernadero.

- **Efecto de la radiación ultravioleta**

La radiación UV es absorbida en gran parte por la atmósfera (principalmente por la capa de ozono) llegando a la superficie de la Tierra en pequeñas cantidades.

Los efectos de esta radiación son:

- En pequeñas cantidades parece que estimula la germinación de diversas semillas.
- En elevadas cantidades produce quemaduras y necrosis en tejidos vegetales.
- Es responsable del ennegrecimiento de los bordes y pétalos exteriores de las rosa (especialmente de color rojo) (figura 16).
- Favorece la formación / activación / desactivación de ciertos pigmentos presentes en algunas flores y frutos.
- Es necesario para la visión de diversos insectos (abejorros, mosca blanca, etc.).
- Es requerido por algunos hongos para esporular (Ej.: *Botrytis Cinerea*) (figura 17).
- Afecta la pigmentación de manzanas, duraznos y nectarinas.

Con el uso de algunos filtros en las películas plásticas podemos controlar la cantidad de radiación ultravioleta de algunas longitudes de onda y reducir algunos de los efectos que se acaban de señalar (Waldo, 2005).

En los últimos años, las investigaciones están apuntando hacia materiales con características fotoselectivas capaces de interrumpir el ciclo vital de los hongos y otros organismos. La esporulación y el crecimiento micelar de los hongos puede, en parte, ser limitados mediante el uso de aditivos que absorban el rango de radiación necesaria para su desarrollo. Las experiencias en el laboratorio han sido satisfactorias, aunque en campo, los resultados están más limitados, ya que existen muchas más interacciones de otros parámetros como son las variaciones de temperatura, la humedad relativa, la radiación (la presencia de ventanas provoca que la radiación en el interior del invernadero no esté totalmente filtrada), etc.

También se están probando películas que bloquean longitudes de onda que necesitan ciertos insectos para ver, y por lo tanto reducir su presencia y las enfermedades que producen (Ej.: mosca blanca y virus de la cuchara) (cuadro 3). Hay que tener cuidado al utilizar estos materiales ya que sus filtros también pueden reducir la eficiencia de los insectos polinizadores beneficiosos para las cosechas (abejorros, abejas, etc.) o incluso cambiar el tono de algunas variedades de flores (al cambiar de filtros) (Arbolí, 2000).



Figura 16. Bloqueo UV disminuye el ennegrecimiento.



Figura 17. Comparación entre dos películas de invernadero. Lado derecho, película regular con plantas atacadas por *Botrytis Cinerea* y lado izquierdo, película con AV con plantas sanas (Villarreal, 2007).

Cuadro 3. Efecto UV sobre los insectos en el invernadero (Villarreal, 2007).

Tipo de patógeno	Efecto de la luz UV
Pulgones	100 veces menos
Mosca Blanca	10 veces menos
Trips	10 veces menos
Minador de las Hojas	2 veces menos
Acaro	No hay influencia directa de la UV

- **Infrarrojo cercano**

El efecto de esta radiación solar es el responsable del calentamiento de la atmósfera, suelo, plantas, invernaderos, etc.

Actualmente, existen en el mercado películas que reducen la transmisión del infrarrojo cercano disminuyendo la temperatura dentro de los invernaderos (Arbolí, 2000).

- **Modificación de las propiedades de la superficie de la película**

Existen diferentes tipos de aditivos que pueden modificar las propiedades superficiales de las películas plásticas. Entre los principales ejemplos de lo anterior se encuentran los aditivos antiniebla, los agentes antimicrobianos y los aditivos antipolvo. Los aditivos antiniebla en particular han comenzado a ser utilizados ampliamente, pues modifican la naturaleza hidrofóbica del polietileno para permitir que la humedad dentro del invernadero forme una capa continua y transparente en lugar de gotas de gran tamaño que pueden incluso reducir de forma importante la transmisión de la luz. El reto actual en la tecnología de desarrollo de dichos aditivos, radica principalmente en el logro de un efecto antiniebla de larga duración (figura 18), esto es de, 3 a 4 años (Waldo, 2005).

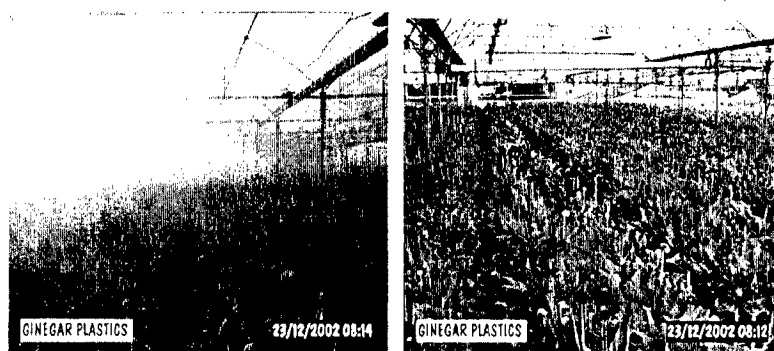


Figura 18. Lado izquierdo, película sin antiniebla y lado derecho película con antiniebla (Villarreal, 2007).

Principales propiedades de los plásticos para invernaderos

A medida que la agricultura ha alcanzado un status de industria altamente tecnificada, se ha propiciado un consumo cada vez mayor de plásticos agrícolas en el mundo. Las películas plásticas agrícolas para invernaderos pueden mejorar la calidad y el rendimiento de la producción mediante la reducción de los cambios de clima extremos para el cultivo, la optimización de las condiciones de crecimiento, el alargamiento simulado de la estación de crecimiento y la disminución de las enfermedades de la planta. La

disminución de las enfermedades y del uso de estimulantes de crecimiento reduce a su vez el uso de pesticidas, fungicidas y otros químicos altamente tóxicos. De acuerdo a un estimado del Comité Internacional de Plásticos para la Agricultura (CIPA) actualmente se utilizan en el mundo cerca de 3 millones de toneladas de plásticos para aplicaciones agrícolas (Marcarian, 2005). De este volumen, se estima que cerca de un 90% corresponde a películas para acolchado e invernadero como las dos principales aplicaciones actuales.

Algunos polímeros como el PVC y el EVA son capaces de proveer un efecto invernadero natural, sin embargo otros polímeros como el polietileno requieren el uso de aditivos especiales para poder mejorar su efecto de preservación térmica.

Finalmente, las películas plásticas usadas en invernaderos tienen por naturaleza propiedades superficiales que propician la formación de gotas condensadas debido a su naturaleza hidrofóbica, así mismo propician la adherencia de polvo y el desarrollo de bacterias. Todas las propiedades anteriores pueden dañar directa o indirectamente el desarrollo de un cultivo. Para los casos anteriores es necesario utilizar aditivos antiniebla, antibacterianos y antipolvo.

Algunas de las propiedades que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar los plásticos de cobertura son (Villarreal, 2005):

Propiedades ópticas:

- Transmitancia.

Propiedades térmicas:

- Opacidad a las radiaciones nocturnas
- Aislamiento térmico y filtros UV.
- Estanqueidad.

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a la tracción y al impacto.
- Elasticidad.

Propiedades físicas:

- Repelencia al polvo.
- Condensación de la humedad (Anti-Goteo).
- Densidad.
- Espesor.
- Ligereza.
- Duración o envejecimiento.

Materiales de Cubertura para Invernaderos

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero. La elección del material, de cobertura dependerá de una serie de criterios o indicadores, que interaccionados entre sí, ayudarán al agricultor en la elección del material apropiado. Estos indicadores se pueden resumir en (Matallana y Montero, 1995):

- Respuesta agronómica debida al material empleado (precocidad, producción y calidad).
- Propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material de cubierta.
- Estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico.

El material ideal sería el que cumpliera los requisitos siguientes: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares, gran opacidad a la radiación infrarroja lejana emitida por el suelo y la planta durante la noche.

Los materiales que pueden cumplir todas estas exigencias son caros y exigen estructuras costosas. El material ideal sería el que tuviese el espesor y la flexibilidad de los plásticos y las propiedades ópticas del vidrio. Es decir, que sea muy permeable, durante el día, a las radiaciones de longitud de onda inferiores a $2.5 \mu\text{m}$ y por la noche fuera lo más opaco posible a las radiaciones de longitud de onda larga, emitida por el suelo y las plantas, que son las que mantienen calientes a los invernaderos (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales materiales para cubierta de invernaderos

Vidrio Impreso o Catedral		
Plásticos	Rígidos	<ul style="list-style-type: none">• Poliéster• Policarbonato (Alveolar)• Policloruro de vinilo (PVC)• Policarbonato (Ondulado)
	Flexibles	<ul style="list-style-type: none">• Polietileno de Baja Densidad (PEBD)• Copolímero de Etileno-Vinil Acetato (EVA)• Policloruro de vinilo (PVC)• Materiales Coextruidos (Bicapa, Tricapa, Pentacapa)

Vidrio

Este material fue el primero en utilizarse hasta la aparición de los materiales plásticos. Se emplea principalmente en zonas de clima extremadamente frío o en cultivos especializados que requieren una temperatura estable y elevada.

El vidrio es el que presenta una transmisión óptica y térmica más óptima. Es un material no combustible, resistente a la radiación UV y a la contaminación manteniendo sus propiedades iniciales a lo largo de su vida.

El cristal tiene la propiedad de ser casi totalmente opaco a las radiaciones de longitud de onda larga, es decir, a las que emiten las plantas y el suelo por la noche; esta cualidad del vidrio es muy interesante, ya que las pérdidas de calor durante la noche son mucho menores que las que ocurren con los demás materiales plásticos utilizados como cubierta (Villarreal, 2005).

Plásticos rígidos

Polimetacrilato de metilo (PMM)

Existen dos tipos de polimetacrilato de metilo: incoloro y blanco translúcido; al mismo tiempo se fabrica en forma de placa celular.

La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV y su poder de difusión es casi nulo. Tiene una gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo.

A pesar de su ligereza el polimetacrilato de metilo puede soportar una sobrecarga de 70 kg por metro cuadrado, lo cuál es importante para aquellas zonas con riesgo de nevadas; el coeficiente de conductividad térmica de polimetacrilato de metilo es de 0.16 kilocalorías/metro-hora °C a 0.64 del vidrio lo que impide el enfriamiento nocturno del invernadero.

Entre las ventajas que ofrece el polimetacrilato de metilo están:

- resistencia a los agentes atmosféricos
- deja pasar los rayos UV
- gran resistencia al impacto, se presentan pocas roturas
- facilita el deslizamiento de la nieve
- gran transparencia a las radiaciones solares
- uso de estructuras más ligeras que las que precisa el vidrio.

El principal inconveniente es su elevado costo, que junto al tipo de estructura requerida hacen que los invernaderos construidos con este material sean de costos elevados. El metacrilato es fácil de rallar con cualquier instrumento, con lo que habrá que considerar este aspecto como factor negativo. Su duración es mayor que la del poliéster (Navarro, 1999).

Policarbonato (PC)

Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. También se fabrica sin esta protección a las radiaciones UV, pero no es conveniente utilizarla en la cubierta de invernadero.

La transmisión de luz en el rango de las radiaciones visibles e infrarrojos cercanos es del 76-83%, según el grosor de la placa y las paredes (2 ó 3), en las placas que no llevan protector a las radiaciones UV.

En los productos que lleven la protección en la parte exterior, para no dejar pasar a las radiaciones UV, éstas no pasan al interior. Esta propiedad, que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernaderos, resulta inconveniente cuando el invernadero está dedicado a la producción de plantas hortícolas, que luego van a plantarse al aire libre, por el efecto de choque que se produce, al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV.

El policarbonato celular tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga. Las múltiples paredes de que consta la placa, forman una cámara de aire dentro de los canales internos que hacen aumentar el poder aislante en un porcentaje muy elevado, respecto al mismo material en placa sencilla (Navarro, 1999).

Poliéster con fibra de vidrio

La propiedad principal del poliéster es la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Con toda la materia orgánica las placas de poliéster se ven afectadas por la radiación UV que produce en ellas cambios de color. El amarillo primitivo adquiere tonos más fuertes según va pasando el tiempo, que se transforman en tonos tostados, para terminar adquiriendo tonalidad marrón. El viento, arena, lluvia, nieve y granizo, e incluso el polvo, trabajando en conjunto y con la ayuda de la radiación UV y la oxidación se combinan para desgastar la superficie de las placas y erosionarlas, dando lugar al florecimiento de las fibras y a su oscurecimiento,

dando lugar a una pérdida de transparencia y a una reducción del poder de difusión de la luz.

La erosión producida por los agentes atmosféricos puede ser corregida mediante la aplicación de una capa de gel o resina endurecida sobre la superficie de la placa. Las láminas de poliéster reforzado tiene una transparencia a las radiaciones solares comprendidas entre el 80-90%. El poder de reflexión está entre 5 y 8%; su poder absorbente es del 15-20%.

El poliéster reforzado con fibra de vidrio tiene un gran poder absorbente para las radiaciones UV de la luz; la lámina de policloruro de vinilo es aún más absorbente en esas radiaciones. Tiene un gran poder de difusión a la luz. Este material plástico es muy opaco a las radiaciones de larga longitud de onda, o radiaciones nocturnas. Se asemeja al vidrio. El coeficiente de dilatación térmica es muy bajo.

En los invernaderos de poliéster, reforzado con fibra de vidrio, la falta de radiaciones UV puede originar problemas en los invernaderos dedicados a la producción de plantas, que luego va a ser plantada al cultivo en aire libre.

El poliéster se puede proteger durante el proceso de su fabricación con una lámina de policloruro de vinilo; esta lámina resulta uno de los protectores de poliéster más duradero y resistente a los agentes atmosféricos y a la acción degradadora de las radiaciones UV (Navarro, 1999).

Policloruro de vinilo (PVC)

Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40% y una alta transmitancia a la radiación visible, aproximadamente del 90%.

Las películas de PVC se presentan en su versión de PVC armados que consisten en una red interior que mejora las cualidades físicas de la lámina, pero que reduce la transmitancia.

Para mejorar su comportamiento se añaden antioxidantes, estabilizadores y absorbentes de luz UV. Así, el PVC fotoselectivo-fluorescente es aquel al que se le añadieron aditivos que mejoran la captación entre los 0.5 y 0.6 mm.

Los materiales de PVC tienen el inconveniente de fijar bastante el polvo en su superficie (Navarro, 1999).

La dilatación es el aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura. Los diferentes materiales aumentan más o menos de tamaño según sus propiedades (cuadro 5) (Encarta, 2006).

Cuadro 5. Porcentajes de dilatación de algunos materiales de cubierta para invernadero.

Plásticos	Dilatación térmica (%)
Poliésteres (1mm)	40 a 50
Polimetacrilato de metilo (PMM) (3mm)	73
Policloruro de vinilo (PVC) (1mm)	60 a 80
Policloruro de vinilo plastificado (PVC) (0.15 a 0.20 mm)	60 a 80
Polietileno alta densidad (PE) (0.10 a 0.15 mm)	200
Etil acetato de vinilo (EVA) (0.10 a 0.15 mm)	100 a 200
Vidrio	0

Características de los plásticos flexibles

Son materiales sintéticos, compuestos generalmente por moléculas orgánicas con un elevado peso molecular. Son termoplásticos, es decir, permiten ser sometidos a diferentes ciclos térmicos pudiendo ser fundidos y solidificados tantas veces como sea necesario. Son materiales ligeros, de fácil transporte y manipulación (www.infoagro.com).

Policloruro de vinilo (PVC)

Su resistencia al rasgado es muy baja, por lo que requiere de estructuras poco agresivas que mantengan bien sujeta la película. También se le añaden antioxidantes, estabilizadores y absorbedores de luz UV.

Transmite la luz visible en porcentajes elevados, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se adhiera fácilmente, restándole transmisividad. Su elevado contenido en cloro le proporciona un buen efecto barrera al IR.

El PVC envejece más lentamente que el PE; la degradación o el envejecimiento del PVC se traduce en pérdidas de transparencia, coloración de la lámina y fragilidad.

El envejecimiento o degradación del PVC es debido a cambios químicos producidos por el calor y la luz en presencia del oxígeno; también se debe a que el plastificante se disuelve. Además algunos microorganismos que viven a expensas de los carbonos de los plastificantes (www.infoagro.com).

Policetileno (PE)

Es el plástico flexible más empleado actualmente para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado. Esto se debe principalmente a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus propiedades. El PE junto al polipropileno (PP) y al PVC, son los termoplásticos de más consumo.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en:

- Baja densidad: $< 930 \text{ kgm}^{-3}$.
- Media densidad: $930 - 940 \text{ kgm}^{-3}$.
- Alta densidad: $> 940 \text{ kgm}^{-3}$.

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad y alto peso molecular. Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500 %. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50 % de su valor inicial. El PE se degrada por la radiación UV y el oxígeno, por lo que la exposición permanente a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas.

Para evitar esto es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias:

- Absorbentes de la radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenona).
- Secuestradores de los radicales libres.
- Desactivadores (sales orgánicas de níquel).
- Estabilizadores (Hindered Amines Light Stabilizers).

Así existen dos grandes grupos de aditivos:

- Aditivos de proceso. Destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.
- Aditivos de aplicación. Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos.

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en la agricultura; el poder de reflexión es del 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del PE está comprendida entre el 70 y el 85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

El PE de baja densidad es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible pero menos que el resto de los plásticos y se desgarran con facilidad.

El PE es el material plástico que menos densidad tiene; es decir, es el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de espesor.

El PE no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y el suelo en el interior del invernadero (www.infoagro.com).

En el mercado existen tres tipos de polietileno:

a) Polietileno normal

Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas. En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tiene inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche.

Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, sino llevan en su composición antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éstos tipos de plásticos no excede de un año, reduciéndose a 10 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables.

b) Polietileno normal de larga duración

Este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes e inhibidores que lleva en su composición.

La duración de este tipo de plástico es de 2 a 3 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.

c) Polietileno térmico de larga duración

El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones de longitud de onda larga en un espesor de 200 μm). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas alcanzadas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal.

El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 55% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico; también, por la misma razón de los aditivos añadidos, tienen un buen efecto antigoteo.

La técnica de la coextrusión permite combinar propiedades que no pueden ser reunidas por un polímero único, las propiedades más comunes son la optimización térmica, estabilidad frente a las radiaciones UV, mejora de las propiedades mecánicas, antihongos, antipolvo (www.infoagro.com).

Copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA)

Actualmente se están fabricando los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA). Se sintetiza por calentamiento suave del etileno y de acetato de acetato (AV) en presencia de peróxidos. La proporción usual en AV para la agricultura oscila entre el 6 % y el 18 %. Un mayor contenido en AV aumenta su opacidad al IR pero disminuye su resistencia mecánica. Esta formulación mejora las propiedades físicas del polietileno incluyendo su resistencia a la ruptura a bajas temperaturas y al rasgado.

Su transparencia a la luz visible cuando el material es nuevo es más alta que la del polietileno térmico, la opacidad a las radiaciones térmicas depende del contenido de acetato de vinilo, siendo necesario del 15 al 18% de AV para conseguir un buen nivel térmico para un espesor de 0.15 a 0.20 mm.

Resulta más caro que el polietileno térmico. De entre las películas plásticas es el que presenta una mayor resistencia a los rayos UV.

Los problemas más importantes que presentan los copolímeros de EVA son su excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan), gran adherencia del polvo, lo que puede provocar reducciones de hasta un 15 % en la transmisividad a la radiación solar y son difíciles de lavar debido a su alta carga electrostática.

Respecto a la duración de la lámina como cubierta de invernadero es de 2 años para los espesores de 200 μm y de 1 año para los grosores de 100 μm .

Cuadro 6. Comparativo de propiedades ópticas y mecánicas de los cuatro materiales de cubierta plásticas más utilizadas (Montero y Antón, 1993).

PROPIEDAD	PE	PVC	EVA	PC
Resistencia a la radiación UV	+/-	-/+	+	+
Transparencia a la radiación visible	-/+	+	+	-
Propiedades térmicas	-/+	+	+/-	+
Antigoteo	-	-	-	+
Propiedades mecánicas	-/+	+/-	+	+
Compatibilidad con los aditivos	-	+	+	+
Resistencia al rasgado	+	+	-	+
Resistencia a las bajas temperaturas	-	-	+	+
Resistencia a las altas temperaturas	+	-/+	-	+
Precio	+	-	+	-

Las películas de copolímero EVA con un alto contenido de acetato de vinilo (AV), no son recomendables para cubierta de invernadero en localidades geográficas con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material (cuanto más porcentaje de AV mayor dilatación con calor), da lugar luego a bolsas de agua de lluvia y a la rotura por el viento (.www.infoagro.com).

Plásticos multicapa

Estas películas plásticas se componen de tres o cinco capas coextruidas en las que, combinando la incorporación de aditivos especiales, se puede obtener el tipo de plástico que se requiere para cada caso particular.

A este tipo de plásticos se le pueden incorporar diversos aditivos para lograr diferentes resultados, por ejemplo:

En la capa exterior

- Bajo contenido de acetato de vinilo para dar mayor rigidez y resistencia al rasgado.

- Aditivos inhibidores de la acción degradante de la radiación UV para lograr mayor vida útil.
- Aditivos para evitar la adherencia del polvo exterior.

En las capas intermedias

- Alto contenido de EVA que le da termicidad, transparencia y flexibilidad.
- Aditivos para lograr una mayor difusión de luz.

En la capa interior

- Aditivos para proteger contra los agentes químicos aplicados en el interior del invernadero
- Incorpora aditivos anti-goteo para evitar la formación de gotas de agua en la superficie interior del plástico debidas a la condensación de la humedad del interior del invernadero.

Otros aditivos que se pueden agregar a la composición del plástico tienen los siguientes resultados:

- Bloquear la banda de luz del espectro UV (0.29-0.38 μm) para repeler la entrada al invernadero de insectos como la mosca blanca y los trips causantes de numerosas enfermedades vírosas en los cultivos, además se reduce la esporulación de muchos hongos patógenos como *Botrytis*.
- Eliminar la formación de niebla en el interior del invernadero.

El PE y el EVA son los materiales más utilizados en la coextrusión. Así, la coextrusión de EVA entre dos capas de PE (llegando hasta un 28 % de AV) limita la transmisividad al IR a valores inferiores al 10 % mejorando la transparencia a la transmisión solar y dando mayor resistencia al material resultante (Villarreal, 2005).

Plásticos fotoselectivos

Los plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la radiación. En la zona del infrarrojo cercano (0.7-1 μm) se induce un alargamiento en la planta. Estudios sobre la fotomorfogénesis han mostrado la gran influencia que ejerce la calidad espectral de la radiación sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas. La relación de los flujos de fotones rojo / rojo lejano (0.61-0.7 μm / 0.7-0.8 μm) actúa sobre un alargamiento de los tallos. En el rojo (0.61-0.7 μm) y el azul (0.41-0.51 μm) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en la fotosíntesis o radiación PAR.

Así, se han formulado plásticos que permiten seleccionar estas longitudes de onda del infrarrojo y por lo tanto adaptarlas a las necesidades lumínicas de la planta durante su desarrollo fenológico, fomentando así los niveles de producción (www.infoagro.com).

Principales aditivos para las cubiertas plásticas

Aditivos UV (Hals)

Estabilizadores de la luz altamente efectivos para un amplio número de polímeros. El Hals no absorbe la luz ultravioleta, si no que actúa como un captador de radicales libres inhibiendo la degradación del polímero. Los Hals también contribuyen a mejorar la estabilidad térmica de los polímeros a largo plazo. Éstos dan lugar a una mayor transparencia en los plásticos de invernadero, por lo que permite una mayor radiación fotosintética (PAR) (www.grupotpm.es).

Aditivos UV (Nickel Quenchers)

Estabilizante que actúa como agente de transferencia de energía. Estos aditivos le confieren al plástico un aspecto amarillo-verdoso (www.grupotpm.es).

Aditivos difusores

Pueden incrementar la difusión hasta en un 70%. Los niveles de transmisión de luz global no son significativamente afectados, pero el aumento de la difusión hace que se pueda disponer de la luz más aprovechable en algunas plantas, lo que se traduce en un mayor rendimiento (www.grupotpm.es).

Absorbedores de luz UV

Absorben la luz UV dañina y mejoran la resistencia del polímero frente a la degradación cuando están expuestos a condiciones externas (www.grupotpm.es).

Aditivos térmicos

Son los conocidos como cargas minerales, los cuales mejoran la temperatura dentro del invernadero mediante la retención de la radiación infrarroja lejana. Esto permite alcanzar un buen desarrollo del cultivo al mantener las temperaturas en el invernadero más altas durante la noche. Así mismo, previene los daños por heladas y contribuye a reducir los costos de calefacción nocturna (www.grupotpm.es).

Agentes antiestáticos

El proceso de coextrusión en cinco capas permite lograr que una de las caras externas de la película para invernadero tenga una superficie más lisa y con aditivo antiestático, lo cual determina una menor capacidad para que la película retenga partículas y así evitar o retardar la acumulación de polvo, que generalmente es la base para el crecimiento de algas en la cara externa de la cubierta plástica. Es importante notar que estas películas tienen revés y derecho, y que al momento de la instalación hay que tener cuidado para que la capa tratada quede en el lugar correcto (Bekhor, 2007).

Modificadores de la tensión superficial

Por la caída de la temperatura durante la noche tenemos un aumento rápido de la humedad relativa del aire y la condensación de agua en las superficies más frías, como la parte interna de la cubierta.

Las cubiertas están formuladas con aditivos que modifican la tensión superficial, haciendo que la gota de agua en contacto con el material de cubierta tenga un ángulo más pequeño, tendiendo a ser plana. La tensión superficial se denomina al fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica. Esto hace que las gotas que se condensan en la cara interna del plástico tiendan a unirse unas a otras (Villarreal, 2007).

El agua al condensarse en forma de gotas en la cara interna de las películas puede producir los siguientes efectos negativos:

1. Reduce la transmisión de la luz visible de las películas con la consiguiente reducción de la cosecha que ello puede suponer.
2. Las gotas al caer sobre las plantas producen zonas más susceptibles a las enfermedades fungosas.
3. En casos extremos las gotas pueden funcionar como lupas produciendo quemaduras en los tejidos vegetales (Waldo, 2005).

La solución a este problema son las llamadas películas antigoteo, las cuales funcionan mediante aditivos que aumentan la tensión superficial de las películas de forma que el agua se condense en la película (figura 19).

De esta manera se aumenta la transmisión de luz visible que pasa a través de la película con el consiguiente incremento de cosecha.

En ciertas zonas, las películas antigoteo pueden presentar problemas de adhesión de polvo. Este inconveniente se puede paliar parcialmente mediante la utilización de películas multicapa que favorezcan la colocación del aditivo antigoteo en la cara interior de la película de invernadero.

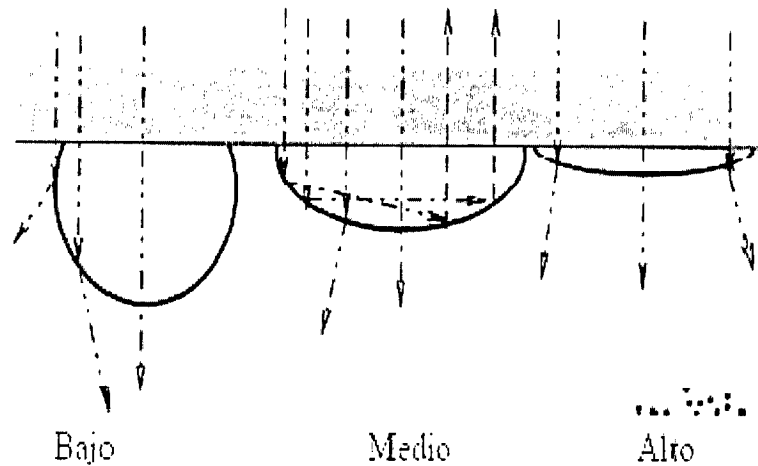


Figura 19. Respuesta de la condensación del agua a diferentes niveles del aditivo antigoteo (Villarreal, 2007).

El tipo de estructura también limita el empleo de películas con efecto antigoteo. Por ejemplo, en invernaderos del tipo parral, la malla de alambre interna, al estar en contacto con el plástico provoca que por dichos alambres gotee el agua.

El problema de los aditivos antigoteo radica en que tienen un corto tiempo de vida, ya que son fácilmente degradables por la radiación solar, por lo que actualmente se trabaja en nuevas formulaciones donde los aditivos antigoteo permanezcan durante toda la vida útil del plástico (Arbolí, 2000).

Propiedades ópticas de las cubiertas para invernadero

Transmitancia. Es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresaría como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior. La transmisión depende del ángulo de incidencia de la cubierta.

Propiedades físicas de las cubiertas para invernadero

La elección de un determinado material de cubierta influirá en el tipo de estructura del invernadero, es decir, determinará el peso que debe soportar la estructura, por tanto el

espacio que debe haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbrera y forma del techo.

Peso. Las películas de plástico tienen poco peso lo que disminuye su exigencia en las estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo. Los materiales rígidos además de un peso mayor acostumbran a tener un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soportes.

Densidad. Es la masa de un cuerpo por unidad de volumen. Esta propiedad informa sobre la cristalinidad de los polímeros, la cual modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido o un menor precio.

Espesor. Las unidades de medida serán milímetros generalmente utilizados para vidrio y plásticos rígidos y micras o galgas para las películas, 100 μm equivalen a 400 galgas (1 mm = 1000 μm). En películas el espesor recomendado para proteger el cultivo de las bajas temperaturas es de 50 a 200 μm .

Resistencia a la rotura. Es importante determinarla especialmente en zonas de granizo, nieve o viento. Resistencia a la deformación por altas temperaturas y resistencia a la rotura por bajas temperaturas.

Envejecimiento. El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas (cuadro 7).

a) Envejecimiento Físico. El seguimiento de la degradación física de los materiales se puede realizar regularmente por una simple observación que revele la aparición de desgarraduras en láminas plásticas y mallas de sombreo, desprendimiento de la capa de aluminio en pantallas térmicas, fractura de la muestra en materiales rígidos, etc.

b) El Envejecimiento Radiométrico. Un procedimiento sencillo para determinar los cambios en la transmisión de luz de un material, debidos a la acción de los rayos solares, es medir periódicamente la radiación fotosintética activa (PAR) comprendida entre 0.4 y 0.7 μm , que es primordial para las plantas, ya que condiciona su rendimiento. Esta medida hecha tanto al aire libre como bajo el material de cubierta, nos informa de las variaciones en la capacidad de éste para transmitir el máximo de luz (www.infoagro.com).

Cuadro 7. Duración de plásticos normalizados para invernaderos.

Tipo de plástico	Espesor	Duración (en Almería)	Radiación solar recibida
Polietileno “normal” (sin aditivos)	150 µm (600 galgas)	6-8 meses	< 148 kcal/cm ²
Polietileno de “larga duración”	180 µm (720 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Polietileno “Térmico de larga duración”	200 µm (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero de EVA (12 % AV)	200 µm (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero de EVA (6 % AV)	100 µm (400 galgas)	1 año	148 kcal/cm ²

Propiedades Mecánicas de las cubiertas para invernadero

Es necesario que las películas presenten unas buenas propiedades mecánicas que permitan su adecuada instalación y que resistan los ataques físicos a que se verán sometidos durante su vida útil.

En este sentido el agricultor debe de tener en cuenta las siguientes propiedades:

Resistencia a la tracción. Capacidad de la película para soportar los esfuerzos en tracción. Una buena resistencia evitará roturas del plástico durante el montaje y ante las inclemencias del tiempo como vientos fuertes.

Resistencia al rasgado. Fuerza que oponga la película a la propagación de las roturas, por ejemplo cortes accidentales o desgarros provocados por la estructura.

Resistencia al impacto. Resistencia de la película cuando le dejamos caer un determinado peso desde una determinada altura. Muestra la resistencia a efectos climáticos como el granizo y los fuertes vientos.

Las propiedades mecánicas de las películas dependerán entre otros factores de la materia prima de la que provienen y de las adecuadas condiciones de transformación en que se hayan producido (Waldo, 2005).

Relación Espesor-Duración

No tiene sentido una película que dure cuatro campañas si después de la segunda se reduce la transmisión luminosa en un 20% con el consiguiente impacto en las cosechas y por lo tanto en el bolsillo del agricultor.

Aunque no existe una correlación matemática, entre el espesor y la duración, está demostrado que cuanto más se reduce el espesor, menor es la duración de la película, no sólo por degradación a la radiación UV, sino también por un desgaste mecánico debido a que las propiedades mecánicas son muy inferiores.

Por otra parte, al reducir el espesor de la película limitamos la protección térmica que éste nos brinda y reducimos la duración de otras propiedades que puedan tener las películas como pueden ser antigoteo, antibotrytis o antiinsectos (Arbolí, 2000).

III. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Películas para efecto en temperatura

Poch (2007), menciona que para zonas con temperaturas de 35°C en el ambiente y con una humedad relativa del 35% que causan problemas de fecundación, cuajado y caída de la flor, lo ideal sería tener una cubierta termocrómica que regulará la transmisividad en función de la temperatura de la estación: a mayor temperatura menor transparencia a la radiación térmica de alta energía (procedente de la radiación solar) y mayor permeabilidad a la radiación térmica de baja energía o de onda larga (procedente de la tierra). En época fría dejaría pasar un alto porcentaje de la radiación y en épocas de verano reduciría la transmisión de la radiación.

En ensayos realizados en España de las películas antitérmicas mencionan que la temperatura máxima diurna fue menor bajo este tipo de cubierta en comparación con las cubiertas convencionales. Otros investigadores mencionan que también hay una disminución de la temperatura en el invierno, por lo que, este tipo de película antitérmica tendría su uso en zonas con exceso de radiación todo el año, como es la zona intertropical principalmente.

Se están realizando estudios en tres zonas intertropicales las cuales son: el estado de Veracruz (México), el Valle del Cauca y San Andrés Islas (Colombia) y en la Sierra Prieta, al Norte de Santo Domingo (República Dominicana).

Los resultados en la zona de Ruga, en el Valle del Cauca (Colombia) durante el mes de Octubre muestran que las películas antitérmicas tienden a reducir la radiación máxima casi en un 50% en comparación a las mediciones del exterior, en cuanto a la temperatura máxima las películas muestran un aumento de 2 a 3°C y las temperaturas mínimas tienden a mantenerse igual que las del exterior. La humedad relativa mínima y máxima bajo las cubiertas antitérmicas muestran un 5% a 10% menos que la presente en el exterior del invernadero.

Montero et. al., (2005), evaluaron la respuesta del cultivo de tomate con películas de alta transmisión de luz, se comparó una cubierta de Copolímero de tetrafluoretileno y una cubierta coextrusionada, durante el invierno y verano con alta temperatura y luz en la Región del Mediterráneo, y encontraron que la cubierta de tetrafluoretileno tuvo en promedio 20% de transmisión de luz más que la cubierta coextrusionada, mientras que los demás parámetros climáticos fueron similares ya que se utilizó un sistema de enfriamiento

evaporativo. El rendimiento total y la calidad del fruto fue mejor bajo la cubierta de tetrafluoretileno que bajo la cubierta coextrusionada (un 15% para invierno y 27% en verano, aunque el tamaño de fruto fue mayor en el invierno).

Películas para efecto en radiación

Zäh (2007), hace referencia a la necesidad de absorbedores de rayos ultravioleta en las películas para el recubrimiento de los invernaderos, ya que en la región Sur de España una película para invernadero tiene una duración de 2 o 3 años, mientras que esta misma película en los países bajos tiene una duración de hasta 10 años. Esta diferencia extrema depende no solamente de la magnitud de la radiación UV, sino también de un nivel de temperatura mucho más baja y un uso mucho menos intensivo de pesticidas.

También Zäh (2007), menciona que existe en el mercado un absorbedor de luz UV basado en triazina que tiene una persistencia mucho más alta en las películas en comparación con la que proporciona la benzofenona. Él realizó un trabajo de investigación para comparar estos dos absorbedores, afirmando que el absorbedor de UV basado en triazina tiene una mejor estabilización de la película que el absorbedor de UV basado en benzofenona.

Antón et. al., (2005), realizaron una evaluación con una película del Copolímero tetrafluoretileno que tiene una alta transmisión de luz, en Japón donde existen invernaderos con esta cubierta desde hace 20 años sin mostrar pérdida apreciable de luminosidad. El material de alta transmisión de radiación tiende a obtener resultados positivos en precocidad, cantidad y calidad de la producción.

La evaluación se realizó en base al interés potencial de este film para los invernaderos del Mediterráneo para evaluar su comportamiento en condiciones de campo en el cultivo de Geranio. Obteniendo una transmisión del 83% en comparación con un plástico tricapa coextruido que se situó en el 64%, además de obtener durante el período del cultivo una temperatura diurna arriba de 2°C. Con la película del Copolímero tetrafluoretileno el cultivo obtuvo mayor área foliar pero una menor altura, adelantando la floración una semana, además de obtener un mayor número de flores y de mejor calidad.

Jaffrin (2002), menciona que el ennegrecimiento de los pétalos de rosa es causado por la oxidación de los pigmentos (antocianos) responsables del color rojo de los pétalos, bajo el efecto combinado de los rayos UV y de las temperaturas demasiado bajas. Jaffrin

comparó 5 coberturas para invernadero: una cobertura de Cristal de 3mm (transmisividad del 80% nuevo y un 74% viejo), Teflón de 60 μ m (PTFE F-Clean) (transmisividad del 84% nuevo y un 77% viejo), PVC de 50 μ m (transmisividad del 81% nuevo y un 58% viejo), Teflón tratado con anti UV (PTFE F-Clean GR) (transmisividad del 82% nuevo y un 76% viejo) y PE-EVA tricapa (transmisividad del 66% nuevo y un 56% viejo). Además se obtuvo una temperatura de 17°C bajo un cielo nublado, esta temperatura se tomo como base para determinar las temperaturas bajo las diferentes coberturas, resultanto que el PE-EVA fue el más alto con 20.3°C seguido por el F-Clean GR y el PVC con 20°C, por ultimo el F-Clean con 19.7°C, mientras que el Cristal con 23°C quedo como referencia por su opacidad a los rayos infrarrojos.

Los mejores resultados de productividad y la calidad de las rosas, se obtuvieron con la película F-Clean por su excepcional transparencia y su poca sensibilidad al polvo.

IV. AREAS DE OPORTUNIDAD

En la actualidad existe poca información relacionada con las cubiertas termocrómicas, considerando la gran diversidad de condiciones climáticas que tiene nuestro país donde las diferentes regiones presentan una gran variedad de temperaturas, humedad relativa y radiación incidente, el uso de este tipo de cubiertas sería de gran interés para las diferentes zonas agrícolas para que su potencial pueda aprovecharse de una forma más eficiente.

En México desde hace algunos años existe una aceptación y aplicación en el uso de cubiertas con propiedades específicas para el control de la humedad, la temperatura y el paso de la radiación en invernaderos; sin embargo aún falta mucho trabajo por hacer en el desarrollo, elaboración, evaluación y utilización de este tipo de cubiertas a nivel de empresas y centros de investigación nacional, la mayor parte de estos desarrollos lo realizan empresas internacionales.

Hace falta realizar estudios detallados del comportamiento y de la adaptación a las condiciones específicas de las diferentes regiones con películas antitérmicas, termocrómicas, refrigerantes, antivirales, etc., ya que aún existen dudas de su utilización, y sus propiedades así como las diferencias de opinión en cuanto a los beneficios y las desventajas de su uso.

Si quisiéramos aumentar la vida útil de las cubiertas para invernadero sin perder sus propiedades ópticas y mecánicas habría que analizar los diferentes absorbentes de radiación UV y determinar su comportamiento en los diferentes polímeros para cubiertas.

En el mercado nacional existe una gran variedad de cubiertas para invernadero que afirman tener diferentes propiedades, sería importante realizar investigaciones a nivel experimental de las diferentes cubiertas producidas por las casas comerciales para determinar si las especificaciones de cada una de ellas cumplen al momento de establecerlas en campo.

Un estudio de las diferentes zonas climáticas predominantes en México sería útil para determinar las propiedades ópticas y mecánicas necesarias para aprovechar las

condiciones particulares que predominan en una región determinada, de tal forma que se puedan utilizar las formulaciones y los aditivos idóneos para su elaboración y aplicación.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las cubiertas de los invernaderos son las que nos da las condiciones climáticas dentro del invernadero, por ello hay que poner mucho énfasis al momento de diseñar y/o construir un invernadero, para hacer una selección apropiada del tipo y las características de la cubierta a utilizar. En el mercado nacional e internacional existe una gran variedad de películas para invernadero con diferentes propiedades que permiten obtener mayor rendimiento y mejor calidad de los cultivos.

El uso de invernaderos y el diseño de nuevas tecnologías para las cubiertas permiten llegar a espacios que bajo condiciones de cielo abierto sería muy difícil de producir, además de que el descubrimiento y el desarrollo de nuevos aditivos ayudan que las cubiertas plásticas conservan sus propiedades y tener una vida útil más larga, con beneficios económicos para el productor.

Uno de los factores climáticos más importantes, que hay que tomar en cuenta durante la producción de cultivos es la temperatura, que esta ligada al paso de la radiación, actualmente existe una diversidad de películas plásticas que benefician en el control de dicho factor.

Para recomendar el uso de una cubierta específica para invernadero se deben considerar aspectos climáticos y técnicos del cultivo, analizando las diferentes opciones que hay en el mercado, entonces evaluar de acuerdo a las necesidades y características propias para hacer la selección de la cubierta más favorable para el desarrollo del cultivo a establecer.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Alpí, A. y Tognoni, F. 1999.** Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 347 pp.
- Antón V., A.; Montero C., J. I.; Muñoz O., P., 2005.** Uso de Cubierta de Invernadero de Alta Transmisión de Luz en el Cultivo de Geranio. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària. Cabrils (Barcelona, España). *Plasticulture* 124, 2005.
- Arbolí M. I., 2000.** Los plásticos como cubierta de invernaderos y túneles. *Plasticulture* 119. Pág. 15-25.
- Baille, A., 1999.** Energie Cycle. In: Ecosystems of the world 20. Greenhouse Ecosystems. G. Stanhill and H. Zvi Enoch (Eds.) Elsevier. Chapter 20: 265-286.
- Baixauli, C., 1996.** Aspectos prácticos del control ambiental para hortalizas en invernadero. Ed. Fundación Cultural y de Promoción Social. Caja Rural Valencia.
- Bekhor D., 2007.** Israel. Plásticos inteligentes para la agricultura. IX Congreso Iberoamericano de Plásticos en la Agricultura y Protección Ambiental. 24, 25 y 26 de Septiembre de 2007, Caracas Venezuela.
- Bretones, C. F., 1990.** Microclima en invernadero de plástico sin calefacción. Curso Internacional sobre cultivos protegidos en zonas de clima árido y subárido, Tomo II Almería, España, 1990.
- Bustamante O., J. D. 1997.** Bioespacios y el control del "Chino". Primer encuentro científico. Gobierno del estado de Morelos.
- Bustamante O., J. D. 2003.** Bioespacios y la modificación microclimática, alternativa de control del "Chino" en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y otras hortalizas. p. 245-251. En: J.Z.
- Castilla, N., 2003.** Estructuras y equipamiento de invernaderos. p. 1-11. En: J.Z. Castellanos y J. J. Muñoz (Eds.) Memoria del Curso internacional sobre la producción de hortalizas en invernadero. INIFAP, Celaya, Gto. del 19-21 de Febrero del 2003.
- Castilla, N.; Hernández, J.; Quezada, F. M.; Morales, M. I.; Guillén, A.; Soriano M. T.; Escobar, I.; Antón, A. y Montero, J. I. 2000.** Comparison of asymmetrical greenhouse types in the Mediterranean area of Spain. ISHS International Symposium on Protected Cultivation in mild winter climates. *Acta Horticulturae*.
- Cook R., 2007.** El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Departamento de Agricultura y Recursos Económicos. Universidad de California, Davis 2007.

- De Santiago J., 2008.** Inventario de invernaderos. *Productores de Hortalizas*. Mayo 2008. Pag. 1-3.
- Encarta, 2006.** "Dilatación." *Microsoft® Encarta® 2006* [CD]. Microsoft Corporation, 2005.
- Farías, J.; Orozco, M.; Pérez, J., 1999.** *Plasticulture*, 118. Pág. 1-5.
- Forti, G., 1996.** *Photosynthesis: An Overview in Light as an Energy Source and Information Carrier in Plant Physiology* (Eds. R.C. Jennings, G. Zucchelli, F. Ghetti, G. Colombetti); Plenum Press: Nueva York, 1996.
- Garnaud J., C., 2000.** Etapas para la historia de los avances en plasticultura. *Ingénieur Horticole. Plasticulture* No. 119. Pág. 30-43.
- Gary, C. y Baille, A., 1999.** The greenhouse carbon cycle. *Ecosystems of the world 20. Greenhouse Ecosystems*. G. Stanhill and H. Zvi Enoch (Eds.) Elsevier. Chapter 12: 287-301.
- Jaffrin A., 2002.** Ennegrecimiento de los pétalos de rosa bajo diferentes tipos de invernadero. *Unité d'Amélioration des Plantes de Fréjus. Station INRA la Gaudine; 83 Saint Aigulf; France. Plasticulture* No. 121. Vol. 3.10-21.
- López G., J. y Zapata N., F., 2000.** Los Materiales Plásticos en el Sector Agropecuario. Presidente CEPLA y Doctorando UAL, Universidad Central de Venezuela, respectivamente. Costa Rica, Noviembre 2000.
- Lorenzo, P.; Sánchez, G.; Medrano, E.; Pérez, J.; Maroto, C. 1997.** El enriquecimiento carbónico en invernadero del Sur Mediterráneo. *Horticultura*. Nº 118. 66-67
- Marcarian J., 2005.** Plasticulture comes of age. *Plastics Additives & Compounding*, Vol. 7, 16-19.
- Matallana, A. y Montero, J. I. 1995.** Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundi-Prensa. 207 pp.
- Molina R., J., 2004.** Perspectivas de la Industria de Invernaderos en México. Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. *Certified Greenhouse Grown*. AMPHI – MÉXICO, 2003.
- Montero, J. I. y Antón, M. A. 1993.** Tecnología del invernadero. Ed. Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Buenos Aires. 128 pp.
- Montero, J. L.; Antón, A.; Muñoz, P. (2005).** Respuesta del Tomate a la Cubierta de Invernadero de Alta Transmisión de Luz. *Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària. Centre de Cabrils (Barcelona, España). Plasticulture* 124: 80-89.

- Muñoz R., J.J. y Castellanos R. J.Z., 2003.** INIFAP-CEBAJ. Horticultura Protegida: Antecedentes y Perspectivas de Desarrollo en México y el Sistema Agrícola Almeriense. Primer Simposio Regional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Universidad Autónoma de Nuevo León, Abril 2003.
- Navarro J. A., 1999.** Pantallas térmicas para el control ambiental en invernadero. *Plantflor*. Cultivo y Comercio. Volumen N° 3. Pág. 20-24.
- Olivera J., 2003.** Reporte Técnico Interno, A. Schulman de México, 2003.
- Poch J. F., 2007.** Efectos de las cubiertas plásticas frías o antitérmicas en la zona intertropical. Productos Químicos Andinos S.A. Parque Industrial Juanchito, Manizales, Colombia. *Plasticulture* 126, 20-35.
- Robledo T., V., 2003.** Diseño y Construcción de Invernaderos. Profesor Investigador del Departamento de Horticultura de la Universidad autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Primer Simposio Regional de Producción de Cultivos en Invernaderos, Abril 2003.
- SAGARPA, 2007.** Retos y perspectivas para los pequeños productores mexicanos ante la apertura comercial. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Sánchez C., F., 2007.** Diseño agronómico de invernaderos. 1er. Simposio Internacional de Invernaderos. Construcción, Producción e Insumos. Toluca Edo. de México, 20-22 de Junio 2007.
- Urrutia, A. 2002.** Perspectivas de la industria en México. 3° Congreso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. AMPHI – México, Diciembre 5 del 2002.
- Vilarnau, A. 1997.** El CO₂ en la horticultura. Horticultura N° 118. 64-70
- Villarreal T., L.J., 2005.** Construcción de Invernaderos: Diseño, Materiales y Equipos. Metaliser, SA de CV. Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, Mayo 2005.
- Villarreal T., L.J., 2007.** Invernaderos, Diseño, Materiales y Equipos. Metaliser, SA de CV. Quinto Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, Septiembre 2007.
- Waldo M., M.Á., 2005.** Tecnología en Aditivos para Películas Invernadero: De la Estabilización UV a la Funcionalización de Propiedades Plásticas. Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. A. Schulman de México, S. A. De C.V. Mayo 2005.

Zäh M., 2007. ¿Necesitamos absorbedores de rayos ultravioleta en las películas de recubrimiento de invernaderos? Clariant. *Plasticulture* 126. 25-32.

Paginas Web citadas:

- <http://www.grupotpm.es/plastimer/es/productos/infofamilia/cubiertas>
- http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm
- http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos.htm