

PRODUCCION DE PLANTULAS DE TOMATE Y PIMIENTO
CON CUBIERTAS DE POLIETILENO REFLEJANTE
PARA DISMINUIR LA TEMPERATURA
EN INVERNADERO

ELENO SAMANIEGO CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.



**Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

FEBRERO DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE Y PIMIENTO CON CUBIERTAS
DE POLIETILENO REFLEJANTE PARA DISMINUIR LA TEMPERATURA EN
INVERNADERO

TESIS POR

ELENO SAMANIEGO CRUZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

M.Sc. José Gerardo Ramírez Mezquitic

Asesor:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor Externo:

M.C. María Del Rosario Quezada Martin

Asesor:

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra

Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Febrero 2001

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al Departamento de Horticultura por la formación recibida para alcanzar el grado de Maestro en Ciencias.

A CONACYT, quien apoyó económicamente.

Al Departamento de Agroplásticos del Centro de Investigación en Química Aplicada, por su apoyo con equipo e instalaciones para desarrollar el trabajo de investigación. En especial a todo el personal que ahí labora.

Al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte y sus directivos: Lic. Felipe de Jesús Badillo Ramírez., Lic. Guillermo González López., Rogelio Luna y Lic. Claudia Ábrego D. por su disposición de apoyo para la superación docente.

A mi comité de asesoría:

M.C. Ma. del Rosario Quezada Martin por permitirme trabajar en su línea de investigación en plásticos, por su acertada planeación y dirección en el trabajo de campo y revisión de tesis.

M.C. José Gerardo Ramírez Mezquitic, por su asesoría y participación en este trabajo.

Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por su incansable disposición al trabajo, mejora continua y revisión a la presente investigación.

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra, por la asesoría, apoyo económico del proyecto y revisión al escrito.

A M.C. Boanerges Cedefio Rubalcaba, quien desinteresadamente apoyó el trabajo de campo y colaboró en el procesado de datos.

Al Departamento de Ingeniería Agroindustrial del ITSZN, en especial, al Ing. Arturo Zuñiga Leyva.

A Rosy, Polo, Cirilo R. y Antonio, compañeros de Maestría y de generación. Al Ing. Carlos G. Canché, tesista participante en el proyecto.

DEDICATORIA

Este pequeño esfuerzo lo dedico a mi Familia:

A mi esposa GENA y a mis dos hijos: EDGAR VLADIMIR Y KELLY MEREDITH, quienes me impulsan a seguir superando y tener logros. A ellos, por el tiempo que no les destine, por los momentos gratos que me hacen pasar y dan fortaleza en momentos difíciles... a ellos simplemente GRACIAS.

A mis padres: ELENO SAMANIEGO LÓPEZ y MÁXIMA CRUZ ESTRADA, por darme la vida, inculcarme principios y su apoyo en todo momento.

A mis hermanos, por la unidad que los caracteriza y su apoyo incondicional cuando lo requerimos:

R
M A R I O
J D
T E L É S F O R O
S L
Ú F
S A R A O

A mis sobrinitos: AZBIEL y MARIOTTE

A la familia Dorantes González: JOSÉ C. y MARÍA ENRIQUETA y a sus hijos PATY, CLAUDIA y ROBERTO; quienes siempre nos brindaron su amistad y compartieron sus principios.

A todos gracias...

Ing. Eleno Samaniego Cruz.

COMPENDIO

Producción de Plántulas de Tomate y Pimiento con Cubiertas de Polietileno Reflejante para Disminuir la Temperatura en Invernadero

POR

ELENO SAMANIEGO CRUZ

MAESTRÍA

HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. FEBRERO DE 2001

M.C. José Gerardo Ramírez Mezquitic - Asesor-

Palabras Clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Capsicum annuum* L., Asimilación de CO₂, Control Climático, Resistencia Estomática, Transmitancia.

El desempeño postrasplante de los cultivos depende de obtener plántulas de calidad, para lo cual se requiere manejo y control ambiental intensivos. Poco se ha trabajado con sistemas de control pasivo, de aquí el énfasis en el uso de polietilenos que modifican el balance espectral y por ende la respuesta morfológica y fisiológica de las plantas. Se estudió el efecto de cubiertas plásticas con aditivos reflejantes sobre la radiación y temperatura internas del invernadero, así como sobre el crecimiento y

desarrollo de plántulas de tomate y pimiento morrón. Se utilizaron dos películas experimentales (CIQA-01 y CIQA-02) y una película de polietileno convencional como testigo. Cada una se colocó en un invernadero tipo capilla de 180 m². Se midió la radiación total, la radiación fotosintéticamente Activa (RFA) y la temperatura a dos alturas, dentro y fuera del invernadero. Como variables de respuesta de las plántulas se determinó la asimilación de CO₂, resistencia estomática (RE), área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo y la producción de materia seca. Las películas mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y en la asimilación de CO₂ en tomate; sin embargo, la temperatura inferior sólo mostró significancia a una $p \leq 0.05$. La transmisión a la RFA fue de 59 por ciento para el testigo y de 56 y 42 por ciento, para CIQA-02 y CIQA-01. Asimismo, las películas CIQA-02 y CIQA-01 dieron lugar a temperaturas menores entre 3 y 6 °C en las horas críticas, frente al testigo. Las películas CIQA-02 y CIQA-01 redujeron la asimilación de CO₂ en 24 y 38 por ciento tomate y en chile de 29 y 33 por ciento respecto al testigo. La RE no mostró diferencias significativas entre las películas ni entre especies, pero numéricamente fue mayor en las películas de CIQA. Aunque finalmente el testigo registró los valores más altos de radiación, temperatura y asimilación de CO₂, esto no se reflejó en mayor diámetro del tallo, área foliar y biomasa de las plántulas, en comparación con los otros tratamientos. En un promedio de ambas especies y entre las películas CIQA-02 y CIQA-01, éstas registraron 19, 2.75 y 2.98 por ciento más en área foliar, biomasa y diámetro del tallo, respectivamente; pero en altura 5.1 por ciento menos que el testigo, lo cual resulta favorable en la producción de plántula.

ABSTRACT

Tomato and Bell Pepper Seedlings Production Under Reflecting Polyethylene Covers to
Decrease Temperature in Greenhouse

BY

ELENO SAMANIEGO CRUZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS

HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. FEBRERO 2001

M.C. José Gerardo Ramírez Mezquitic - Adviser-

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Capsicum annuum* L., CO₂ Assimilation
Climatic Control, Stomatal Resistance, Transmittance.

The crops posttransplant role depends of getting quality seedlings, for which it requires intensive handling and environmental control. A little work has been done on passive control systems; from here the emphasis on the use of polyethylenes that modify the spectral balance and therefore the morphological and physiological seedlings response. Polyethylene covers modified with reflecting additives were used to enclose greenhouse structures in order to examine the temperature regime and the development of tomato and sweet pepper seedlings. Two experimental films (CIQA-01 CIQA-02)

and a conventional polyethylene film were applied each in a 180 m² greenhouse. Total and photosynthetically active radiation (PAR) was measured, external and internal temperatures of the greenhouse were quantified at two heights. Seedling response was described by CO₂ assimilation rate, stomatal resistance (RS), leaf area, stem diameter, plant height and dry weight. The films showed significant highly differences ($p \leq 0.01$) in the photosynthetically active radiation and in the CO₂ assimilation in tomato; however, the temperature in the first level only showed significance ($p \leq 0.05$). Average PAR transmittance inside the greenhouse were 59 percent, 56 percent and 42 percent for conventional film, CIQA-02, and CIQA-01, respectively. Also, the reflective experimental films CIQA-02 and CIQA-01 gave rise to reductions in 3 to 5 °C, in the temperature of the greenhouse in critical hours. On the other hand the highest rate of CO₂ assimilation was showed by the seedlings under the conventional film. The experimental films CIQA-02 and CIQA-01 caused a 24 percent and 38 percent reduction in CO₂ assimilation for tomato, and a 29 percent and 33 percent reduction for sweet pepper. As well RS did not show significant differences between the films neither between species, but was higher in the experimental CIQA films. Although finally the conventional film registered the highest values of radiation, temperature and CO₂ assimilation, this was not reflected in greatest stem diameter, leaf area, and plant dry weight, in comparison to the experimental films. Considering the average of both species and both CIQA-02 and CIQA-01 films, these registered 19, 2.75, and 2.98 percent more leaf area, dry weight, and stem diameter, respectively. The seedling height in the experimental films was 5.1 percent less than the conventional film, which is favorable in seedling production.

ÍNDICE

	PÁG.
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia hortícola de los invernaderos en México	4
Producción de trasplantes	7
Calidad de plántulas	8
Trasplantes versus siembra directa	9
Importancia de la plasticultura	10
Los plásticos en la agricultura intensiva	12
Acolchado	12
Invernaderos	15
Concepto e importancia	15
Control ambiental	16
Materiales de cubierta	18
Propiedades de los plásticos agrícolas.....	19
Propiedades físicas	19
Propiedades radiométricas (transmitancia) y térmicas	21
Propiedades químicas	22
Tipos de cubiertas para invernadero	23
Vidrio	23
Plásticos rígidos	24
Polimetacrilato de metilo (PMMA).....	24
Policarbonato (PC)	24
Poliéster con fibra de vidrio	24
Cloruro de polivinilo (PVC)	25
Plásticos flexibles	26
Cloruro de polivinilo (PVC)	26
Polietileno (PE)	27
Copolímero etil-acetato de vinilo (EVA)	28
Desarrollo de nuevas formulaciones	29
Plásticos fotoselectivos	29
Filmes anti plagas y enfermedades	33

Plásticos multicapa	35
Plásticos antigoteo	36
Filmes fotodegradables y biodegradables	37
Otros estudios con materiales de cubierta.....	38
Factores ambientales en el invernadero	39
Radiación	39
Aspectos fisiológicos de la radiación	40
Luz	43
Caracterización e importancia.....	43
Fotomorfogénesis, crecimiento y rendimiento	46
Fitocromo	48
Iluminación suplementaria	50
Temperatura	52
Importancia de la temperatura	52
Efectos de la temperatura en Chile	53
Efectos de la temperatura en tomate	54
Métodos de control de temperaturas máximas	56
Sistemas de sombreo	57
Sistemas estáticos de sombreo	58
Sistemas dinámicos de sombreo	60
Ventilación	61
Natural	61
Ventilación mecánica.....	62
Refrigeración por evaporación de agua.....	62
Pantalla evaporadora (Washed Air, Cooling, Cooling System)	62
Nebulización fina ("High-Pressure-Fogs")	63
Otros métodos	64
ARTÍCULO	65
CONCLUSIONES	86
LITERATURA CITADA	87
APÉNDICE.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	PAG.
1	Valores promedio de la radiación y temperatura al interior de invernaderos con diferentes polietilenos.....	72
2	Valores promedio de variables fisiológicas en plántulas de tomate y chile en invernaderos con diferentes polietilenos.....	77
3	Comportamiento promedio de variables agronómicas en muestreos de plántulas de tomate en invernaderos con diferentes polietilenos...	79
4	Comportamiento promedio de variables agronómicas de plántulas de chile en invernaderos con diferentes polietilenos.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PAG.
1	Radiación fotosintéticamente activa registrada en el exterior y la transmitida al interior del invernadero por diferentes películas de polietileno.....	73
2	Temperatura al nivel de la plántula, registrada en el exterior e interior de los invernaderos con diferentes películas de polietileno...	75

INTRODUCCIÓN

Los plásticos, por las múltiples ventajas que ofrecen, han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es evidente su uso en forma de películas para invernadero, acolchado, microtúneles y túneles; cinta para riego, charolas, estacas, mallas, entre otros (Orzolek y Lamont, 1999). En invernadero es posible obtener condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones más cercanas a las óptimas.

En México, el uso de invernaderos ha adquirido auge para la producción en gran escala de plántulas de tomate y chile. Los avances en el trasplante han contribuido al crecimiento de la industria, al incrementar la seguridad de la producción. La automatización de muchas operaciones como la siembra, llenado de contenedores y trasplante mecánico, tienen posteriormente costos reducidos (Wien, 1997a).

La radiación del sol es el parámetro más importante en invernadero porque influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas a través del proceso de fotosíntesis, transformándose en energía química que se utiliza para la síntesis de compuestos en el metabolismo celular (Geiger y Servaites, 1994; Cerny *et al.*, 1999; Tognoni, 2000 a).

La radiación que penetra en el interior del invernadero varía según la orientación, la forma, la latitud, la posición del sol, la tipología del invernadero (estructura y materiales de cubierta), de la posición de la planta y de las características anatómicas, físicas y químicas de las hojas (cutícula, color, contenido de clorofila, etc.) (Tognoni, 2000b).

Es posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, de aquí que la industria hortícola y la de plásticos en la agricultura, hayan puesto énfasis en el factor luz. En invernadero son factores clave la intensidad y la calidad de la radiación (balance espectral), ya que modifican la temperatura interna de la estructura y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides, 1998). Las plantas son organismos que carecen de movilidad y exhiben por ello una serie de adaptaciones en el tamaño, composición y eficiencia de los sistemas de captura de radiación que compensan las variaciones en la disponibilidad de energía solar (Geiger y Servaites, 1994). La adaptación se consigue por la acción conjunta de los diferentes pigmentos fotorreceptores (clorofilas, carotenoides, fitocromos, etc.), con los cuales la planta percibe las características de la radiación como duración, intensidad, dirección y calidad espectral (Smith, 1995; Terzaghi y Cashmore, 1995; Cerny *et al.*, 1999).

La temperatura es otro factor ambiental que influye en la velocidad de crecimiento y el desarrollo de la planta controlando la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, el equilibrio de carbohidratos y reguladores del crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000a; Guzmán, 2000). Durante el verano, un problema que enfrentan los productores que utilizan invernaderos son las elevadas temperaturas, las cuales disminuyen la calidad de hortalizas y flores (ennegrecimiento de pétalos, aborto y quemaduras), mientras que en plántulas tiernas causan quemaduras.

Para reducir el paso de la radiación solar y bajar la temperatura se utilizan telas, malla sombra y lo más frecuente, aplicación de carbonato de calcio (cal) sobre las cubiertas. Ésta última práctica trae como consecuencia una reducción de la vida útil del polietileno, ya que el encalado extrae los aditivos de las películas y afecta sus

propiedades. Finalmente, el uso de estos métodos, otros equipos y tecnologías elevan en forma considerable los costos de producción, debido al precio, instalación, funcionamiento y mantenimiento. En ese sentido, poco se ha trabajado con el enfoque de reducir las altas temperaturas con un control pasivo, de aquí la necesidad de contar con plásticos para cubiertas de invernadero que modifiquen la radiación y disminuyan la temperatura, sin afectar la calidad de las plantas.

Ante esta problemática, el Centro de Investigación en Química Aplicada ha desarrollado dos prototipos de materiales plásticos con las propiedades señaladas y de larga duración, con la finalidad de contar con una alternativa para que los productores sustituyan con éxito las prácticas actuales de control de temperatura. En el presente estudio se reportan los resultados de investigación sobre la validación de dichas películas. Para ello se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivos

Determinar el efecto de dos prototipos de películas plásticas “termoreguladoras” sobre la radiación y temperatura internas del invernadero.

Evaluar la influencia de las películas plásticas “termorreguladoras” para invernadero, sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate y pimiento morrón.

Hipótesis

La radiación y temperatura internas del invernadero, generadas por el efecto de las películas plásticas “termorreguladoras” influyen en forma positiva sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas de tomate y pimiento morrón.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia Hortícola de los Invernaderos en México

Las tendencias del consumo de alimentos en el mundo, se orientan principalmente al consumo humano de productos obtenidos con pocos pesticidas y bajo el concepto de la reducción o eliminación de riesgos a la salud, por posibles agentes tóxicos acumulativos y por microorganismos que pueden ser transmitidos por el agua, estiércoles y el manejo mismo de las frutas y hortalizas desde su proceso de producción, recolección, selección, empaque y distribución, hasta el consumidor final (<http://www.agroguías.com>). En México, el desarrollo económico ha sido muy rápido en la década reciente y la población ha aumentado en las grandes ciudades, lo que implica incremento en la demanda de alimentos en volumen y alta calidad; si esto se combina con la reducción de áreas cultivadas y el deterioro de los recursos naturales, será evidente la necesidad de tecnología que permita un mejor aprovechamiento de ellos. Esta situación abre una excelente ventana para la producción controlada de hortalizas bajo invernadero (<http://www.agroguías.com>), ya que la técnica de protección de cultivos bajo esta forma, modifica total o parcialmente las variables ambientales, haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos (Gálvez, 1999).

Dentro del sector hortícola, el crecimiento en el consumo y la demanda de servicios está por arriba de un 16 por ciento, y en él, México y España comparten en el

ámbito mundial, la dinámica de crecimiento y productividad más elevada (Randolph, 1999). De aquí que a México se le reporte como uno de los grandes ganadores en la balanza que arrojan los primeros resultados del Tratado de Libre Comercio de Norte América, ya que las exportaciones de hortalizas frescas como son tomates, chile Bell, pepino, calabacita, berenjenas y chícharos, muestran un crecimiento importante de las exportaciones hacia los E.U.A. durante los últimos ocho años, donde se reportan incrementos para 1997 con respecto a 1993, de 64.9 por ciento para tomate; de 44.4 por ciento para chile bell, de 40.9 por ciento para pepino, de 51.3 por ciento para calabacitas, de 59.9 por ciento en berenjenas y de 76.9 por ciento para chícharos, siendo las principales zonas exportadoras el Valle de Culiacán, Guasave y Los Mochis, Sin. El Valle de San Quintín, el Valle de Mexicali, San Luis Río Colorado en B.C., los Valles del Yaqui y Mayo en Sonora y el Bajío en Guanajuato, así como algunas áreas de Michoacán y Guerrero (<http://www.agroguías.com>).

Las hortalizas representan en el ámbito nacional solamente alrededor del 3 al 3.5 por ciento de la superficie agrícola del país; sin embargo, representa el 18 por ciento del valor total de la producción nacional y el 50 por ciento del valor de las exportaciones agropecuarias mexicanas (<http://www.agroguías.com>).

Los cambios en los sistemas de producción han sido muy notables; en el caso del tomate, hace diez años se hablaba sólo del tomate envarado y ahora se tienen tomates colgados, en vara, en malla sombra y en invernadero (Randolph, 1999). La superficie de tomate es de 78 mil ha y en el chile fluctúa entre 120-150 mil ha (1.5 millones de ton). Ambos cultivos, representan un promedio anual de por lo menos 200 mil ha, que se cultivan en más de catorce regiones, las cuales marcan el liderazgo en la producción de hortalizas de nuestro país. En dichas especies, su cultivo ha tenido gran evolución que se

inició prácticamente en los años 60's con el uso de los trasplantes y con almácigos al aire libre; luego mejoras en las técnicas de producción; le siguió mejoras en los substratos, desarrollo de híbridos y últimamente la forma más efectiva de producir los trasplantes es en el invernadero (Alisedo, 1999).

Por otro lado, tomando en cuenta la situación actual, algunos analistas indican que en pocos años, habrá en México una combinación muy notable de sistemas de producción con una tendencia muy marcada hacia los invernaderos, los cuales podrían tener incrementos anuales del 20-30 por ciento en la superficie. Entre las razones del cambio, se puede mencionar que ahora existe mayor competencia y al mismo tiempo, los consumidores exigen cada vez mayor calidad y más variedad de productos. Hay una renovación constante en las empresas, y al parecer la globalización de la producción y el comercio, están poniendo una gran presión para desarrollar nuevos sistemas y tecnologías (Randolph, 1999).

En la actualidad se desarrollan a escala mundial un total de 330,000 hectáreas bajo condiciones de invernadero para la producción de diversas especies hortícolas. Los cultivos más comúnmente desarrollados bajo invernadero son tomates, pepinos, chiles, melones, lechuga, espinaca y calabacita (Gálvez, 1999; <http://www.agroguías.com>). En México, Bringas (1998) reporta 250 ha distribuidas principalmente en 11 empresas y en los estados de Sinaloa, B.C. Sur, B.C. Norte, Jalisco, Sonora, Durango, Querétaro y Nuevo León. El cultivo de tomate y pimientos ocupan un 80 por ciento y un 20 por ciento con pepino, berenjenas y melones. En ese sentido, la tecnología de los plásticos agrícolas ha evolucionado considerablemente en los últimos diez años, la producción hortícola bajo plástico están alcanzando ya cierta importancia y dicho sistema de cultivo se ha extendido; ocasionando que la industria haya creado un nuevo sistema de

explotación, lo que abre un panorama económico pleno de posibilidades para la horticultura (Gálvez, 1999).

Producción de Trasplantes

Esta práctica es comúnmente usada en cultivos hortícolas de semilla pequeña, particularmente aquellas difíciles de germinar o que requieren condiciones especiales de germinación. Es común en áreas donde la estación de crecimiento es corta y se requieren cosechas tempranas. El trasplante o producción en almácigo maximiza el uso de recursos de agua disponible; precisa el control de inclemencias ambientales y permite un uso intensivo del terreno, permite medidas para el control de malezas y fitosanitario, regula la densidad de plantas y hace un uso eficiente de variedades o semillas caras, creando uniformidad en el tamaño y desarrollo de la plántula dentro del cepellón (Loustalot, 1998; Wien, 1997a).

En la actualidad, muchos países han adoptado técnicas integrales para la producción de trasplantes que permiten desarrollar el máximo potencial de la semilla, asegurando la calidad de la germinación y recortando el período de producción de manera importante (Minero, 1998). En el cultivo de plántulas, es necesario producir plantas que resistan los rigores del manejo del trasplante, sobrevivan al estrés del movimiento de ambientes protegidos hacia ambientes de campo, queden establecidas y reinicien el crecimiento activo inmediatamente después del trasplante; produzcan rendimientos aceptables sin reducciones o retrasos comparados con métodos alternativos de establecimiento (Latimer y Beverly, 1993). El éxito del establecimiento en campo está directamente relacionado al vigor de las plántulas al momento del trasplante. Los

factores que pueden afectar negativamente el vigor durante la producción y mercadeo incluyen las técnicas de endurecimiento usadas, el daño mecánico en alguna fase de crecimiento de la planta, tamaño de la celdilla del recipiente, edad del trasplante, condiciones de producción, de mercadeo y plantación, tiempo y condiciones ambientales durante el transporte y tiempo de almacenamiento y condiciones posteriores al trasplante (Cantliffe, 1993).

Calidad de Plántulas

El éxito en la producción de plántulas, radica en la utilización de insumos de calidad (substrato, fertilizantes, semillas, plaguicidas) y en su manejo. El empleo de semilla certificada, de substratos a base de Peat Moss, adecuado manejo integrado de plagas y enfermedades; control ambiental de ventilación, iluminación y sistemas de riego y fertirrigación permiten al final del ciclo obtener plántula de la más alta calidad (Gómez, 1998; Minero, 1998), con altura uniforme y tallo fuerte que resista el transporte y el estrés al momento del trasplante (Leskovar y Stoffella, 1995).

Dentro de los criterios para evaluar el vigor de plántulas de tomate, Navarrete *et al.* (1997) mencionan variables agronómicas tales como el área foliar, peso seco de la planta, diámetro del tallo, salud radical y color del follaje. Morone *et al.* (1995) indican que el número de hojas y área foliar son los parámetros de calidad más apropiados en melón y apio y materia seca de brotes en apio. En tomate, Dumas (1990) encontró fuerte correlación entre peso seco de brotes y área foliar. El reparto de materia seca entre brotes y raíces indica la capacidad competitiva de regiones de demanda y el estado fisiológico de la planta (Leskovar *et al.*, 1990a).

Trasplantes versus siembra directa

Las ventajas más importantes entre los dos métodos de establecimiento son que: bajo almácigo, hay un uso intensivo de las áreas de producción, producción escalonada de acuerdo con las fechas de siembra, reducción de los trabajos de cultivo, mejor control de malezas, empleo más eficiente de la semilla, mejor aprovechamiento de los insumos, optimación de la germinación y el crecimiento de las plantas y producción de plantas sin limitaciones del clima (Minero, 1998). La siembra directa puede resultar en baja, variable y reducida permanencia de plantas cuando hay temperaturas extremas altas o bajas, estrés hídrico, fuertes lluvias o soportar la presencia de plagas y enfermedades del suelo que ocurren al momento de la siembra (Heydecker y Coolbear, 1977). Las plantas establecidas por trasplante son más uniformes, pueden tolerar o escapar inicialmente a estrés por factores ambientales, biológicos y llegar a maduración más temprano que plantas de siembra directa (Liptay *et al.*, 1992). La opción de un sistema de plantación depende de lo económico del establecimiento de las plantas, permanencia de éstas después del trasplante y el valor del subsecuente rendimiento (Leskovar y Cantliffe, 1993).

En Chile, Leskovar y Cantliffe (1993) compararon los dos métodos de establecimiento y encontraron que el de siembra directa mantuvo un mayor balance de partición de materia seca a la raíz, tallo, hojas y fruto que el de trasplante; sin embargo, éste último, mantuvo rendimientos significativamente más altos y tempranos que plantas de siembra directa. Éste tipo de plantas desarrolla una fuerte raíz principal; mientras que las de trasplantes desarrollan un sistema radical distintivo causado por modificaciones de la raíz principal y sobran desarrollo de raíces laterales y basales (Leskovar *et al.*,

1989). En condiciones de invernadero, los patrones de crecimiento de la raíz son normalmente dependientes del agua, luz, fertilidad y el estrés físico impuesto por el recipiente. Estos factores usualmente alteran el crecimiento normal de la raíz superficial y lateral; asimismo promueven la ramificación de nuevas o más raíces laterales y basales (Leskovar *et al.*, 1990a).

El establecimiento de plántulas en campo depende del adecuado desarrollo de raíz principal, laterales asociadas y raíces basales para especies dicotiledóneas o raíces adventicias y raíces laterales asociadas para la mayoría de especies monocotiledóneas. Los patrones de crecimiento radical de plantas establecidas por siembra directa difieren de aquellas establecidas por trasplante (Leskovar *et al.*, 1990b). El sistema radical de las plántulas tiene importantes funciones físicas y fisiológicas desde las fases iniciales de la emergencia de las mismas, hasta el subsecuente crecimiento y desarrollo. El tamaño, distribución y arquitectura de un sistema radical de las plántulas puede controlar el tamaño relativo y la velocidad de crecimiento del brote en desarrollo y el subsecuente rendimiento en el cultivo de tomate (Leskovar y Stoffella, 1995; Leskovar, 1998).

Importancia de la Plasticultura

La plasticultura es la tecnología del uso de plásticos en la agricultura. La plasticultura empezó cuando se desarrolló el primer sustituto del vidrio para uso agrícola general. El polietileno fue desarrollado como una película plástica en 1938 y en la actualidad, el mayor volumen de plásticos agrícolas es de películas para cubiertas de invernadero (Splittstoesser y Brown, 1991). El vidrio había sido el material de cubierta tradicional por muchos años, pero en la última década ha habido un desplazamiento al

uso de cubiertas plásticas en muchos países, debido a que aquel material resulta costoso, pesado e inflexible; mientras que el plástico es fácil de trabajar y más económico (<http://www.agroguías.com>). Actualmente, en países del mediterráneo, Japón y USA, la mayoría de invernaderos están cubiertos con películas plásticas (Geoola *et al.*, 1994).

Desde el punto de vista técnico, el mercado para las películas agrícolas, particularmente con tendencia a la protección de cultivos, han seguido una marcada evolución en los últimos años (Moens, 1991). La introducción de los plásticos cambió radicalmente las técnicas culturales más tradicionales de los cultivos, principalmente en las regiones con climas no aptos para su desarrollo al aire libre o en regiones que compiten fuertemente en los mercados de exportación (Díaz, 1995; De Santiago y Randolph, 1996).

Es evidente que existe un gran incremento en el empleo de materiales plásticos en la agricultura, tales como: películas para invernadero, acolchado, microtúneles y túneles; cinta para riego, charolas, estacas, malla sombra, malla antiviral y otros (Gálvez, 1999). Mediante las técnicas de plasticultura que hacen uso de estos productos, se han logrado sustanciales avances en la producción en gran escala de trasplantes bajo invernadero (Castaños, 1993), mejoras en la cantidad y calidad de las cosechas, reducción de fluctuaciones de temperatura y humedad durante la estación de crecimiento, control biológico de plagas y enfermedades, extensión del período de crecimiento en primavera y otoño para la producción de hortalizas; producción de varios cultivos semitropicales, aplicación más precisa del agua y nutrientes para optimizar el rendimiento y calidad de los cultivos, eficiencia en la aplicación de pesticidas aplicados al suelo e incremento en los estándares de protección al trabajador (Orzoleck y Lamont, 1999). Dichos avances han sido llevados a cabo a través del uso de varios aditivos, los

cuales proporcionan a las películas propiedades específicas tales como: termicidad, estabilidad uv, difusividad, capacidad anti-polvo, foto o biodegradables y capacidad anti-condensación (Moens, 1991). De aquí se ha derivado una gran variedad de colores y calibres que pueden aplicarse a diferentes conceptos, que van desde el clásico control del clima y la humedad, hasta la reflexión solar y el control de plagas y de enfermedades. Existe una película plástica para cada función y clima específico (Rodríguez, 1999).

La industria de la fabricación de los plásticos ha entrado en una etapa de rápida evolución, donde las características físicas, ópticas, mecánicas y térmicas juegan cada vez un papel más importante para obtener resultados específicos; por ejemplo, respuestas y mejoras al rendimiento y calidad de diferentes cultivos hortícolas (Robledo y Vicente, 1981; Matallana y Montero, 1995; Lozano *et al.*, 1996; Sade, 1997; Sulaika, 1997; De Santiago, 1998).

Los Plásticos en la Agricultura Intensiva

Acolchado

El acolchado consiste en cubrir el suelo con alguna forma de barrera protectora (Garnaud, 1974). Antiguamente se asociaba directamente al empajado, en la actualidad el plástico ha desplazado casi totalmente a los residuos vegetales empleados con este fin (Guzmán y Sánchez, 2000), ya que el polietileno es preferido por el menor precio y por la mayor cantidad de calor que fluye del suelo a las partes aéreas de las plantas durante la noche (Garnaud, 1974). Asimismo, las propiedades fotométricas de los plásticos

agrícolas pueden potencialmente influir sobre la radiación reflejada, y esto a su vez modificar la temperatura del suelo y el desempeño de las plantas (Ham *et al.*, 1991).

Los agricultores contemplan una amplia variedad de acolchados con diferentes propiedades físicas y espectrales para seleccionar materiales que incrementen o disminuyan el calentamiento del suelo. En la conservación de la energía, aquella que no es directamente usada para calentar el suelo, deberá ser reflejada o irradiada a la superficie o transportada desde ésta por calor convectivo del aire en movimiento (Tanner, 1974). Se han documentado alteraciones en el ambiente lumínico de la planta como resultado de la reflectancia diferencial (acolchado de colores) o transmisión (cubierta de surcos) y son suficientes para modificar el desarrollo de plántulas jóvenes y afectar el rendimiento (Friend y Decoteau, 1990).

En las explotaciones hortícolas se utiliza la técnica del acolchado en un sinnúmero de cultivos para eliminar malezas, conservar la humedad del suelo y alterar la temperatura en la zona radical (Coffey *et al.*, 1999), obtener menor número de frutos dañados, mayores y más precoces cosechas de mejor aspecto comercial y estado sanitario, mantener la estructura del suelo y proteger la germinación o enraizamiento de las plantas (Guzmán y Sánchez, 2000). Se modifican las relaciones hídricas, temperatura, fotosíntesis y la morfología de trasplantes pequeños al alterar el balance de radiación del follaje; la temperatura del aire cercana a las hojas en crecimiento, mejor utilización de los abonos y fertilizantes y se favorece el intercambio gaseoso (Garnaud, 1974; Ham *et al.*, 1991).

El plástico negro es el estándar, pero recientemente con la finalidad de incrementar los rendimientos y controlar insectos, se han fabricado plásticos para acolchado de varios colores (Coffey *et al.*, 1999). En acolchado de colores que refleja o cubre el surco,

se transmiten grandes cantidades de luz en la relación rojo lejano al rojo (FR: R) y las plantas crecidas en ese ambiente son más altas (tallos más grandes) que aquellas de ambientes luminosos que contienen menores cantidades de luz FR: R (Decoteau y Friend, 1991a). La relación FR: R reflejada del plástico rojo, en comparación con los otros, incrementó los rendimientos hasta en más del 20 por ciento. El acolchado amarillo ha resultado un método seguro y efectivo para controlar mosca blanca y áfidos. El acolchado blanco mantiene la temperatura del suelo más fresca al reducir la cantidad de radiación solar absorbida por el suelo durante el verano. El acolchado azul incrementa el rendimiento de calabaza y melones (Coffey *et al.*, 1999). Los acolchados de colores pueden ser usados para bajar la acumulación de unidades calor (UC), lo que permite extender la fecha de plantación de cultivos que son sensibles al calor. En contraste, el acolchado negro puede ser usado para incrementar la acumulación de calor en siembras tempranas de cultivos que requieren más calor (Schmidth y Worthington, 1998).

Los efectos del acolchado sobre la humedad del suelo, temperatura del aire y del suelo, rendimiento del cultivo, calidad y respuesta de fructificación han sido estudiados en gran variedad de cultivos incluyendo tomate y chile (Decoteau y Friend, 1990). El tomate en acolchado rojo mostró floración más temprana y mayor acumulación de biomasa inicial que el acolchado negro; pero al momento de la cosecha no hubo diferencias significativas en acumulación o reparto de biomasa a la raíz, hoja, tallo y órganos reproductivos (Brent *et al.*, 1999). La misma especie, cv. "Mountain Pride", se cultivó sin acolchado y sobre acolchado plástico de colores. En el verde y aluminio se produjo un peso de fruto comercial más alto que en los colores negro o blanco; mientras que las plantas sin acolchar y los otros colores (rojo, café, claro) produjeron rendimientos intermedios (Brown *et al.*, 1991). En el cv. "Al-Wadi", los rendimientos

iniciales y totales fueron más altos con acolchado que en surcos bajo cubiertas flotantes. Los frutos más grandes se produjeron con acolchado negro. La temperatura del suelo a una profundidad de 10 cm varió por sólo 1-2 °C entre los tratamientos. La temperatura del aire bajo surcos cubiertos excedió los 35-40 °C en muchos días, resultando en problemas de cuajado de frutos y rendimiento inicial bajo (Rubeiz y Freiwat, 1995). En plántulas de chile bajo acolchado, la velocidad de crecimiento, la tasa de asimilación neta y la tasa relativa de crecimiento durante el crecimiento inicial fueron más altas en el plástico plateado, siguiéndole en el orden el polietileno negro y luego el transparente (Oh *et al.*, 1989).

Invernaderos

Concepto e Importancia

Un invernadero se puede definir como una construcción de madera o de hierro u otro material que permite mejorar el control de las condiciones climáticas en que se desarrolla un cultivo. Básicamente está formado por paredes y cubiertas hechas de materiales que filtran la radiación que entra y sale de él y lo aíslan del exterior. El término invernadero puede aplicarse a toda estructura cerrada cubierta por materiales translúcidos, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima y con ello cultivar hortalizas, flores y plantas verdes fuera de estación en condiciones más cercanas a las óptimas para crecimiento y fructificación, en cuanto a temperatura y luz se refiere (Alpi y Tognoni, 1991; Guzmán, 2000; Guzmán y Sánchez, 2000).

En general, los invernaderos protegen a las plantas de condiciones meteorológicas adversas como granizo, lluvia, viento y heladas; permiten a los agricultores obtener más y mejores cosechas y lo más importante, cultivar en épocas y zonas que años atrás parecía imposible (Alpi y Tognoni, 1991; Guzmán, 2000). Las ventajas del empleo de invernaderos son: posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año, precocidad en los frutos, producción fuera de época, aumentar la calidad y del rendimiento, ahorro de agua y de fertilizantes, mejora el control de insectos y enfermedades (Guzmán y Sánchez, 2000).

La eficiencia y funcionalidad son las dos características principales que deben tener los invernaderos. Por eficiencia se entiende la idoneidad para condicionar algunos elementos del clima, no de una manera estática o incontrolable, sino entre límites bien determinados de acuerdo con las características del cultivo. La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como del económico (Matallana y Montero, 1995).

Control Ambiental

Uno de los propósitos del buen manejo del invernadero es mantener las condiciones climáticas uniformes en la región ocupada por el cultivo. La homogeneidad en el desarrollo del cultivo viene a ser lo más importante para satisfacer exactamente los requerimientos del mercado. La manipulación directa de los procesos de la planta relacionados con el crecimiento, conducen a dar mejores estándares de calidad y producción más eficiente, ya que la uniformidad climática en el invernadero es de gran valor económico (Fernández y Bailey, 1994).

Las modificaciones del microclima consisten principalmente en alterar el balance de energía de plantas individuales y doseles de plantas. Para ello existen varias prácticas, tales como sombreado, acolchado, ventilación, humedecimiento o secado, calentamiento o enfriamiento, etc. (Tanner, 1974). Cuando la relación entre un proceso de la planta (e.g. transpiración o fotosíntesis) y microclima es conocido, un sistema de control del clima hace posible la manipulación de este proceso (Stanghellini y Meurs, 1992), de aquí que un invernadero debiera estar provisto de mecanismos y equipo necesario para actuar, mediante la ventilación activa o pasiva sobre la temperatura, humedad relativa y el nivel de CO₂ (Bretones, 1995).

En invernadero, las condiciones climáticas difieren de aquellas en el campo en lo siguiente: 1) Más baja irradiación exterior en la estación de invierno, y las pérdidas por reflexión y absorción de la cubierta y elementos de construcción son entre 30-50 por ciento; 2) la correlación entre factores climáticos puede ser al final parcialmente rota y su intensidad puede ser mejorada por técnicas tales como calentamiento, enriquecimiento de CO₂ y o luz artificial (Krug, 1997). También, un mejor aislamiento térmico y una más alta transmisión de luz pueden ser mejorados, dependiendo de los materiales de cubierta y el tipo de construcción del invernadero (Jong *et al.*, 1993). El diseño de éste es importante, ya que por ejemplo en tomate, cerca del 74 por ciento de la energía requerida para producir el cultivo en un invernadero de plástico es retenida por la estructura (Celis y Hetz, 1992).

Materiales de Cubierta

En cultivos protegidos una estructura artificial es usada para proteger las plantas contra condiciones climáticas adversas. Diversos tipos de construcción y cubiertas han sido usados para la producción de diferentes variedades de flores y hortalizas (Zhibin, 1999). El uso de materiales plásticos en la agricultura y concretamente como cubiertas de invernaderos, significó un adelanto en el diseño de los mismos. La importancia del material de cubierta en el cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir dicha estructura (Matallana y Montero, 1995)

La elección del material más conveniente es una cuestión que en cada caso dependerá de varios factores; uno básico es conocer la planta a cultivar, así como su capacidad de adaptación a las condiciones de cultivo para mantener un nivel de respuesta adecuado en cuanto a fotosíntesis, transpiración, déficit de presión de vapor y temperatura ambiente (Guzmán, 2000). Matallana y Montero (1995) señalan que la elección dependerá de una serie de criterios o indicadores como la respuesta agronómica debida al material empleado (precocidad, producción y calidad), las propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material de cubierta, así como la estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico. El material ideal sería aquel que cumpliera los siguientes requisitos: Buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares, gran opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por el suelo y la planta durante la noche.

La película plástica que se seleccione (<http://www.agroguías.com>.) debe reunir las siguientes características:

- **Transmitir la porción de luz visible del espectro de radiación solar que es la única que las plantas utilizan para su fotosíntesis (400 - 700 nm).**
- **Absorber la mínima cantidad de radiación ultravioleta en el espectro y provocar que algo de ésta se transforme en luz visible útil para las plantas.**
- **Reflejar o absorber la radiación infrarroja, la cual no es usada por las plantas y que provoca un sobrecalentamiento en el interior de los invernaderos.**
- **Minimice costos y tenga la máxima vida útil.**

Los materiales que pueden cumplir todas estas exigencias son caros y exigen estructuras costosas. El material ideal sería aquel que tuviese el espesor y 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 2500 nm y por la noche sea lo más opaco posible a las radiaciones de longitud de onda larga emitida por suelo y plantas, que son las que mantienen calientes a los invernaderos (Matallana y Montero, 1995).

Propiedades de los Plásticos Agrícolas

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas más importantes son: durabilidad, permeabilidad a vapores y líquidos, transparencia a la luz, efecto invernadero, modificación de la temperatura del suelo bajo la película y propiedades selectivas de la longitud de onda.

a) Durabilidad y fuerza. La durabilidad depende del grosor, tipo y grado de plástico, tiempo de exposición a rayos uv; disponibilidad de oxígeno (fotooxidación), temperatura y humedad. La fuerza depende del tipo de resina, de ella será la resistencia a la rotura por el viento, hielo, nieve y lluvia (Splittstoesser y Brown, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

b) Densidad. La cristalinidad de los polímeros modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte, aunado a un menor precio (Splittstoesser y Brown, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

c) Transparencia y calidad de la luz. La transparencia a la luz es el grado de permeabilidad del plástico a la radiación térmica y solar. La mayoría de materiales no son transparentes; mientras que éstos no le permitan al ojo ver a través de ellos claramente se pueden considerar como translúcidos. Desde un punto de vista práctico, el vidrio y el plástico transparente son similares en la calidad de luz transmitida (Garnaud, 1974; Splittstoesser y Brown, 1991).

d) Retención de calor. El efecto invernadero es producido por la diferencia de permeabilidad a la radiación solar y térmica; por ello, el material ideal debe ser transparente a la radiación solar (180-1500 nm), pero completamente opaco a la térmica (5000 a 35000 nm) (Garnaud, 1974).

e) Temperatura del suelo bajo la película plástica. Generalmente la temperatura se incrementa en varios grados durante el día (2-10 °C), acorde a la estación, cantidad de sol, humedad y tipo de suelo. En la noche, la diferencia de temperatura es entre 2-4 °C (Garnaud, 1974).

f) Propiedades selectivas de la longitud de onda. Las películas plásticas selectivas a la longitud de onda absorben y reflejan la radiación fotosintéticamente activa en el rango de 400-700 nm y transmiten parte del espectro solar en la radiación cercana al infrarrojo en los 700-3000 nm (Garnaud, 1974).

g) Peso. Las películas plásticas tienen poco peso, lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreado. Los materiales rígidos, además de un mayor peso, acostumbran a tener un tamaño más reducido, por lo que requieren un mayor número de soportes y se influye también en una menor estanqueidad (<http://www.Infoagro.com>).

h) Envejecimiento. El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la pérdida de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas (<http://www.Infoagro.com>).

Propiedades Radiométricas (Transmisión) y Térmicas

Las dos propiedades de las láminas de plástico de mayor interés para los agricultores son la transmisión de la luz y la termicidad de la película. La transmisión es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresa como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultánea en el exterior. La transmisión depende del ángulo de incidencia de la cubierta. La transmisión de luz de una película indica el porcentaje de radiación lumínica que penetra en el invernadero desde el exterior (Matallana y Montero, 1995; <http://www.Infoagro.com>). No sólo interesa tal porcentaje, sino que además debe considerarse el porcentaje de difusión de la luz incidente llamada turbidez (Guzmán, 2000).

La termicidad de un plástico indica la capacidad de éste para retener la radiación infrarroja bajo la cubierta (Guzmán, 2000). La protección contra el frío de un material depende; por un lado de su transmisión a la radiación IR larga y por el otro, de las pérdidas por conducción y convección a su través. En condiciones estables de laboratorio se mide un coeficiente K global de pérdidas caloríficas, que expresa el conjunto de pérdidas radiantes, convectivas y conductivas, lo que permite comparar unos materiales con otros (Matallana y Montero, 1995; <http://www.Infoagro.com>).

La transmisión es indicador del porcentaje de radiación susceptible de cruzar la lámina. Cuanto menor es la transmisión mayor es la termicidad. Existen dos vías principales para aumentar la termicidad de los polietilenos: mediante la adición de componentes térmicos o mediante el uso de las películas que contienen un determinado porcentaje de acetato de vinilo (copolímeros EVA). Al aumentar el porcentaje de acetato de vinilo se aumenta la termicidad. El vidrio y el polietileno presentan una transmisión muy parecida (87-88 por ciento). El policarbonato transmite un 7-8 por ciento menos que el vidrio y el polietileno; pero una cubierta doble de polietileno es el material más desfavorable, llegando a transmitir el 74 por ciento de la luz exterior (Matallana y Montero, 1995; <http://www.Infoagro.com>).

Propiedades Químicas

En cierta manera las características físicas se relacionan con las propiedades químicas, ya que éstas son las que modifican el balance espectral, la temperatura e imparten la duración de la película, entre otras.

a) Composición Química. En base a esta propiedad se han generado polietilenos de baja densidad con excelente fuerza tensil para acolchados y resistencia al desgarre; son de bajo peso y costo. Películas de cloruro de polivinilo (PVC), de etil acetato de vinilo (EVA) que mejoran las características de retención de calor (Splittstoesser y Brown, 1991).

b) Aditivos. Para aumentar o modificar algunas propiedades especiales de las películas: pigmentación con carbón negro o dióxido de titanio para películas gris humo; opacas térmicas, rojas o cafés y fotoselectivas (PVC verdes); estabilizadoras uv (carbón negro); película antivaho; retención de calor con una barrera térmica dentro de la película; fotodegradables y biodegradables (Splittstoesser y Brown, 1991).

Tipos de Cubierta Para Invernadero

Vidrio

Fue el primer material en utilizarse hasta la aparición de los 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 polución, manteniendo sus propiedades iniciales a lo largo de su vida. El utilizado para invernadero tiene un espesor de 2 a 4 mm con una densidad de 2400 Kg/m^3 (Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Plásticos Rígidos

Polimetacrilato de Metilo (PMMA)

Es un material acrílico que procede del acetileno mediante formación de acrilato de metilo y polimerización de éste último. Se conoce comercialmente como vidrio acrílico o plexiglass. Es un material ligero con una densidad de 1180 kg/m^3 , presenta buena resistencia mecánica y estabilidad. La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85-92 por ciento, por lo que deja pasar casi todos los rayos uv y su poder de difusión es casi nulo. Tiene gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo. Entre las ventajas que ofrece el vidrio acrílico están: resistencia a los agentes atmosféricos, deja pasar los rayos uv, gran resistencia al impacto, por lo que apenas existen roturas, facilita el deslizamiento de la nieve, gran transparencia a las radiaciones solares y se usan estructuras más ligeras que las que precisa el vidrio (Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Policarbonato (PC)

El policarbonato es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto (granizo, piedras, etc.) y más ligero que el PMMA. Es una placa 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. La transformación a luz en la gama de radiaciones visibles e infrarrojos cortos es del 76-83 por ciento. El policarbonato tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga. Es un material muy ligero, comparado

con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos que el vidrio a igualdad de espesor. La duración de las placas de policarbonato es de 10 años (Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Poliéster con Fibra de Vidrio (PFV)

Las láminas de PFV muestran resistencia mecánica y mejoran la difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Tienen una transparencia a las radiaciones solares entre el 80-90 por ciento, el poder de reflexión está entre 5 y 8 por ciento y su poder absorbente es de 15-20 por ciento, sobre todo gran poder absorbente para las radiaciones uv de la luz. La falta de éstas puede originar problemas en la producción de plantas que luego se establecen al aire libre. Su duración varía entre 8 y 15 años (Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Cloruro de Polivinilo (PVC)

Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40 por ciento y una alta transmitancia a la radiación visible, aproximadamente del 90 por ciento. Para mejorar su comportamiento se añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes uv. Así, el PVC fotoselectivo-fluorescente es aquél al que se han añadido aditivos que mejoran la captación entre los 0.5 y 0.6 nm. Los materiales de PVC tienen el inconveniente de fijar bastante polvo en su superficie (Splittstoesser y Brown, 1991; Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

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 (Splittstoesser y Brown, 1991; Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Cloruro de Polivinilo (PVC)

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Las láminas se fabrican por calandrado lo que limita su ancho a 2 m, llegando hasta 8 m mediante sucesivas soldaduras. Su densidad es de 1250 a 1500 kg/m³, siendo más pesado que el polietileno. 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, estabilizantes y absorbentes 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 infrarrojo. Se estima su duración entre 2 ó 3 años para láminas flexibles (Splittstoesser y Brown, 1991; Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

Polietileno (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 incorporarle aditivos que mejoran sus presentaciones. 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: $< 930 \text{ kg/m}^3$; media densidad: $930 - 940 \text{ kg/m}^3$; alta densidad: $> 940 \text{ kg/m}^3$ (Splittstoesser y Brown, 1991; Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>).

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 sus propiedades mecánicas. Para evitar esto es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias: absorbentes de radiación uv (derivados de benzotriazoles y benzofenona), secuestradores de radicales libres, desactivadores (sales orgánicas de níquel), estabilizantes (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 el procesamiento 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 (Splittstoesser y Brown, 1991).

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

aproximadamente un 15-30 por ciento menos de luz 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 demás plásticos. Se desgarran con facilidad (Alpi y Tognoni, 1991).

Los primeros plásticos empleados en las cubiertas para invernaderos fueron las láminas de polietileno normal, cuya única función era la de proteger a los cultivos de las inclemencias del tiempo. Este tipo de películas, no sometidas a tratamiento alguno presentaba una resistencia y una duración muy limitada. A medida que las estructuras de los invernaderos se fueron haciendo más estables surgió la necesidad de obtener mejores cubiertas e iniciaron las investigaciones buscando algunos aditivos para estabilizar los plásticos y darles otras propiedades. Así surgieron los materiales de larga duración, que no son más que el polietileno normal tratado con inhibidores de los rayos ultravioleta, los cuales evitan su degradación al menos durante un período determinado. Estos plásticos aparecen en general coloreados de amarillo, pues suelen estabilizarse con sales de níquel. Sin embargo, las películas de larga duración utilizadas en zonas geográficas de luminosidad limitada y cambios bruscos de temperatura no fueron suficientes para mejorar la productividad. Para cubrir esta deficiencia, el siguiente paso en la evolución de los materiales de cubierta se produjo con la aparición de las películas térmicas de larga duración; éstas, además de la protección contra los rayos uv, son sometidas a un tratamiento térmico que impide que el calor se escape a través de las mismas (Decoteau y Friend, 1991c; Alpi y Tognoni, 1991).

Copolímero Etil-Acetato de Vinilo (EVA)

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 (AV), siendo necesario de 15 a 18 por ciento de éste para conseguir un buen nivel térmico. Resulta más caro que el polietileno térmico. De todas las películas plásticas es la que presenta más resistencia a los uv. Muestran excesiva plasticidad, gran adherencia al polvo, difíciles de lavar debido a su alta carga electrostática. La duración es de 2 años para el grosor de 800 galgas y de 1 año para el de 400 galgas. Las láminas de alto contenido de AV son los recomendables para cubierta de invernadero en lugares geográficos con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material; aunque luego da lugar a bolsas de agua de lluvia y la rotura por el viento (Alpi y Tognoni, 1991; <http://www.Infoagro.com>). El problema de la flacidez causado por las altas temperaturas lo ha solucionado el uso de láminas coextrusionadas (Guzmán, 2000).

A partir de aquí, lo que ha revolucionado el mercado de las cubiertas de invernadero no han sido los materiales en sí, sino la tecnología misma. La técnica de coextrusión ha permitido combinar diferentes materiales aprovechando sus ventajas mediante la colocación de capas sucesivas tratadas en forma independiente; por ejemplo, un material tricapa, en donde una capa está sometida a un tratamiento antigoteo, con una capa que es transparente y térmica y una capa exterior con alta resistencia a los rayos uv y propiedades antipolvo (Bruggink y Heuvelink, 1987; Nederhoff, 1994).

Desarrollo de Nuevas Formulaciones

Plásticos fotoselectivos

El control de la fotomorfogénesis por plásticos fotoselectivos es una opción atractiva como una nueva técnica del control del crecimiento de la planta, que puede facilitar el manejo de la luz en operaciones comerciales (Cerny *et al.*, 1999). Ésta tecnología se basa en el desarrollo de tintes Smart que permanecen estables en los plásticos y finalmente pueden manipular la calidad de la luz natural en el invernadero (Ryu *et al.*, 1999), considerando una reducción de 25-35 por ciento de la luz que afecte la radiación fotosintéticamente activa (Cerny *et al.*, 1999). Los plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la radiación. En la zona del infrarrojo cercano (700 – 1000 nm) se induce un alargamiento en la planta; mientras que en el rojo / rojo lejano (610–700 / 700–800 nm) actúa sobre un alargamiento de los tallos. En el rojo (610–700 nm) y azul (410–510 nm) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación fotosintéticamente activa (<http://www.Infoagro.com>). Así, una cubierta de color rojo y azul aumenta el rendimiento de la plantación; en cambio, una cubierta de color verde, al estar situado en una franja del visible que no es absorbida por la fotosíntesis disminuye la productividad. Con este tipo de láminas selectivas se han conseguido mejoras de rendimiento y de precocidad en tomate, melón, rosas y otros cultivos hortícolas (Guzmán, 2000).

Las cubiertas de plástico que reducen o aumentan una parte específica del espectro pueden dividirse en varios grupos: cubiertas que bloquean la radiación uv (280-400 nm), que absorben o reflejan parte de la radiación visible (filmes coloreados (400-700 nm), las que bloquean el rojo lejano (700-800) y la radiación infrarroja corta (800-2500 nm) y las cubiertas fluorescentes con tintes o pigmentos que absorben luz en una longitud de onda y la emiten en otra mayor (Espí *et al.*, 1997).

Murakami *et al.* (1995), en su estudio con cubiertas que interceptan el rojo, normal y rojo lejano encontraron relaciones R/FR de 0.5, 1.2 y 1.5, respectivamente. Las plántulas de girasol y col mostraron elongación significativa de la planta ante intercepción del R; mientras que en FR la elongación se inhibió. Efectos similares encontraron en plántulas de pepino y tomate. Murakami *et al.* (1996) muestran resultados similares en dichas especies. Una alta relación R/FR, característica de una cubierta azul, modificó el crecimiento y produjo resultados similares a retardantes químicos de crecimiento (Angus y Morrison, 1998). En el mismo sentido, Cerny *et al.* (1999) señalan que filtros interceptores (YBM-1, YB-10) fueron efectivos para controlar la altura de plantas de chile, en forma similar a reguladores químicos o filtros de sulfato de cobre.

El sulfato de cobre líquido elimina la luz FR del ambiente del invernadero y es efectivo en reducir la altura y producir plantas compactas en un amplio número de plantas dicotiledóneas (Rajapakse y Kelly, 1992). En *Lilium longiflorum* Thunb. controló la altura y producción compacta de la planta, causando un retraso en la floración o reduciendo el número de flores por planta, pero la longevidad de la flor se afectó adversamente (Kambalapally y Rajapakse, 1998). Su uso en plantas hortícolas, aún está en fase experimental y será utilizado en la protección de cultivos como pepino, pimiento, berenjena y el tomate, donde la relación entre el crecimiento y la fase de reproducción es tan importante (De Santiago, 1998).

Cubiertas fluorescentes con pigmentos que modifican la luz roja y la relación R/FR determinan el nivel presente de fitocromo (Pfr), lo que incrementa la fotosíntesis y afecta la fotomorfogénesis (Weiss, 1995; Espi *et al.*, 1997). En tomate esto se tradujo en un aumento del rendimiento en peso del 20 por ciento y en rosal se incrementó en un

27 por ciento el número de brotes (Weiss, 1995). En películas fotoselectivas con propiedades de mejora en la relación R/FR, la cubierta Hytilux rindió cuatro veces más y mostró mayor producción total, número de frutos por planta y mejor calidad que la película Astrolux (Benoit y Ceustermans, 1997).

Tsekleev y Stoilov (1990) reportan que plántulas de tomate bajo película de polietileno fluorescente (“Polysvetan”) en una fase inicial presentaron un crecimiento más vigoroso, con un mejor sistema radical, tallos más delgados, más hojas y una mayor área foliar. En este caso la película convierte una proporción de la radiación uv a rayos rojo/naranja, resultando en mejoras de las condiciones térmicas y lumínicas en el invernadero e incrementando la producción total del cultivo en un 23.4 por ciento más que el PE de baja densidad o testigo.

En un estudio con distintos filtros plásticos se encontró que éstos modificaron el ambiente espectral de crecimiento de plantas de lechuga y espinaca. Se originaron cambios adaptativos en las plantas que se expresaron como diferencias en la actividad de asimilación de CO₂ y en la biomasa de las plantas. Éstas variables mostraron correlación alta y positiva con la densidad de flujo de radiación activa para la fotosíntesis, lo cual también dio lugar a diferencias en las propiedades bioquímicas de los extractos de peciolo (Benavides, 1998).

Por otro lado, algunas pruebas en Israel presentan un filtro líquido muy dinámico, que puede ser utilizado entre una doble cubierta de policarbonato para fijar los rayos infrarrojos y acumular el exceso de calor que se presenta en las regiones con veranos extremos; también se puede utilizar para reciclar el calor cuando se presenta el descenso de las temperaturas nocturnas (De Santiago, 1998).

En cuanto a películas que bloquean la radiación uv, se ha encontrado que el uso de éstas afecta la pigmentación o coloración de diferentes plantas; en nectarina se inhibe la síntesis de antocianinas en la cáscara (Spitters *et al.*, 1986; Sullivan y Teramura, 1989; Weiss, 1995); en flores, el patrón de coloración de los pétalos de la rosa Confeti y el oscurecimiento de los pétalos de la rosa Mercedes (Weiss, 1995). En crisantemo, al examinar calidades espectrales de diferentes cubiertas, Angus y Morrison (1998) concluyeron que la de color verde aumenta la altura de la planta, mientras que la azul dio lo opuesto, además de retrasar la floración en comparación con una testigo color claro.

En plántulas de chile rojo; la altura, número de hojas, área foliar, peso seco de la hoja, peso seco del tallo y peso seco de la raíz; todos fueron más altos en películas que se les removió el color azul que con la de polietileno normal. Similarmente ocurrió con el peso fresco de la hoja, volumen foliar y porcentaje foliar ocupado por los espacios aéreos y el volumen interno de los mismos (Chung *et al.*, 1991).

Filmes Anti-Plagas y Enfermedades

Siguiendo esta línea de trabajo se están desarrollando desde hace años multitud de láminas fotoselectivas, incluso algunas actúan en la franja de la radiación ultravioleta y el efecto resultante es una disminución de ataques fúngicos en el cultivo (antibotrytis) y de algunos insectos (Guzmán, 2000).

Las láminas fotoselectivas absorbentes de radiaciones uv (280-390 nm) pueden proteger las plantas contra las enfermedades virales; e.g. TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curly Virus o "Virus de la Cuchara"), al controlar la entrada de algunos vectores como

Bemisia tabaci. En plagas, al combinar diferentes ondas de transmisión se altera de manera importante el comportamiento de los insectos, cambiando la visión, la navegación, el aterrizaje o los patrones de alimentación de la mosquita blanca, los trips, algunos áfidos, ácaros y arañas (Weiss, 1995; Armengol y Badiola, 1996; Espi *et al.*, 1997; Fueyo, 1997; De Santiago, 1998; <http://www.Infoagro.com>). En el mismo sentido, Antignus *et al.* (1996), con películas absorbentes uv., reportan fuerte reducción en la población de plagas de insectos en invernadero (minadores, trips, mosca blanca) y por ende, la incidencia de enfermedades virales transmitidas por éstos; en comparación con películas plásticas, PVC y diferentes marcas de polietileno. También, en papa, Cerne *et al.* (1994) evaluaron dos cubiertas de plástico: Tufbell S3000 y Agril P-17 y encontraron que se redujo la ocurrencia de virosis en 50 por ciento.

Los filtros foto-selectivos para este fin aún están en evaluación, pero se reporta que al relacionar el factor de la sensibilidad de las plantas y los organismos con el espectro de la radiación del calor y la transmisión de la luz, ayudan a controlar la incidencia de enfermedades fungosas como el moho gris, cenicilla polvorienta; *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Alternaria* y *Stemphylium* (Weiss, 1995; Espi *et al.*, 1997). La producción de esporas, viabilidad y crecimiento están condicionados por factores como la luz, humedad y temperatura. Si se rompe el ciclo de desarrollo se restringe 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 (<http://www.Infoagro.com>).

La infección por *Botrytis* en tallos y frutos de tomate fue mucho menor en la cubierta Hytilux que en la Astrolux (Benoit y Ceustermans, 1997). En tomate y pepino, Angus y Morrison (1998) reportan que *Botrytis cinerea* y moho gris son inhibidos por el uso de plásticos que utilizan una relación azul a uv.

Plásticos Multicapa

La coextrusión de varias películas pretende combinar distintas propiedades para mejorar las presentaciones del material plástico. En el mercado destacan los plásticos bicapa y tricapa. Los tricapa están formados por tres láminas, donde cada una de ellas otorga una característica determinada; la capa externa, resistencia a la degradación por uv y al rasgado, rigidez, transparencia y evitar la fijación de polvo; la capa intermedia, efecto termoaislante, elasticidad y difusión de la luz; la capa interna, efecto termoaislante y antigoteo (<http://www.Infoagro.com.>; Guzmán, 2000). La coextrusión de EVA entre dos capas de PE (hasta un 28 por ciento de AV) limita la transmisividad al infrarrojo a valores inferiores al 10 por ciento, mejorando la transparencia a la transmisión solar y dando mayor resistencia al material resultante.

El empleo de cubiertas dobles puede disminuir la luz transmitida hasta dejarla en 60 a 65 por ciento de la incidente. Esta reducción puede llegar a anular las ventajas del incremento de temperatura obtenido con la cubierta doble, en especial cuando se produce en momentos de baja luminosidad en invierno, en los que ya las condiciones exteriores están cercanas al nivel de saturación luminosa de la planta que se cultiva. (Guzmán, 2000). Al respecto, Abak *et al.* (1994) estudiaron la influencia sobre la temperatura interna del invernadero de una película doble delgada (1), la misma pero con una pantalla de poliéster aluminizado (LS-17) (2), una película delgada simple con pantalla de polietileno (3) y como testigo una película simple delgada y sin pantalla (4). Las temperaturas registradas fueron 2.5, 3.4 y 3.4 °C más altas, respectivamente que la testigo. El rendimiento total de tomate también se incrementó en todos los tratamientos, siendo mayor en el 3 con 10.33 kg/m² y de 8.66 kg/m² en el 4. En coles y papas,

películas de polietileno no perforado (NP), polietileno 500, polipropileno (Agril 17) y PP-PA (Agronet 15) fueron evaluadas sólo y en capas dobles como cubiertas plásticas flotantes. Se encontró que las cubiertas en doble capa redujeron la transmisión de la luz en 34-48 por ciento y las simples en 15-34 por ciento (Guttormsen, 1990). En el mismo sentido, en Chile cv. Albena las capas extras de la cubierta del túnel redujeron el acceso de radiación fotosintéticamente activa en 20-30 por ciento. El aislamiento de dos capas, en comparación con la capa individual, incrementó la temperatura del suelo en las primeras horas de la mañana en un promedio de 1.9 °C; una cubierta triple en 2.9 °C; mientras que las temperaturas mínimas del aire fueron elevadas en 1.4 y 3.4 °C, respectivamente (Siwek, 1992).

Wu y Wu (1992) estudiaron el comportamiento de tomate en dos invernaderos cubiertos con una capa doble de plástico (polietileno?) y al exterior en el campo. Un invernadero no tuvo control de humedad relativa (A); en el otro, la HR fue mantenida en más de 80 por ciento por un humidificador (B). Las temperaturas en ambos casos fueron más altas en invierno y primavera y más bajas en verano, que aquellas en el campo. En un segundo año de prueba, el invernadero B cubierto con un material negro como pantalla redujo en 50 por ciento la transmisión de luz. En verano esto resultó en una reducción de temperatura en 26.1 °C, comparado con 32.2 °C en el campo.

Plásticos Antigoteo

Un problema generalmente conocido con los materiales de cubierta plástica convencional es el goteo por la condensación sobre la superficie interior de las cubiertas, y como consecuencia se reduce la transmisión de la luz debido a la reflexión

total de la luz incidente. Las gotas actúan como lentes y queman el tejido de la planta; además, la coalescencia entre ellas causa goteo y provee alta humedad atmosférica, lo cual favorece el desarrollo de enfermedades fungosas (Geoola *et al.*, 1994). La reducción en la transmisión de luz por la condensación depende del tamaño de las gotitas de agua y el ángulo de incidencia de los rayos lumínicos y puede ser tan alta como en 40 por ciento. En ambientes húmedos, donde la transmisión de luz es importante, sólo los polímeros antigoteo pueden ser usados como una alternativa al vidrio u otros materiales (Jaffrin y Makhlouf, 1990).

Este tipo de películas tiene elementos 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. Esto permite que las gotas que se condensan en la cara interna del plástico tiendan a unirse unas a otras. Si la estructura y la pendiente de la cubierta permiten la eliminación de esa capa de agua se evitará el goteo sobre los cultivos y por tanto el riesgo de enfermedades y quemaduras. La forma plana de las gotas aumentará la transmisividad al reducir las reflexiones de la luz (Guzmán, 2000; <http://www.Infoagro.com>). El problema de los aditivos antigoteo radica en su corta vida, ya que fácilmente se degradan por la radiación solar; pero actualmente se trabaja en nuevas formulaciones donde los aditivos antigoteo permanezcan durante toda la vida útil del plástico (Jaffrin y Makhlouf, 1990).

Filmes Fotodegradables y Biodegradables

Se emplean fundamentalmente en acolchados, donde una vez concluida la vida del plástico, éste se desintegra y basta con arar el terreno para que los restos desaparezcan.

La dificultad para determinar el momento en que el plástico debe degradarse en campo es elevada y depende de la radiación acumulada, estructura del invernadero y tratamientos fitosanitarios. Existen estudios para caracterizar y aislar determinadas bacterias que degraden el polietileno. Para ello se investiga la formulación de plásticos formados por pequeñas partículas con gran área superficial y bajo peso molecular que permita la degradación por parte de los microorganismos (Guzmán, 2000; <http://www.Infoagro.com>).

Otros Estudios con Materiales de Cubierta

Rui *et al.* (1989) estudiaron el efecto protector de cubiertas plásticas de polietileno sobre la fotosíntesis de *Capsicum* cv. Zaofeng No.1 y encontraron tasas de fotosíntesis neta en 38.7 y 29.7 por ciento más altas que en parcelas sin cubrir, al pico de fructificación y fases tardías, respectivamente. El contenido de clorofila y su relación a: b fue mayor bajo la película.

Mougou y Mechlia (1990) condujeron un experimento con polietileno, etil-acetato de vinilo (EVA), etil-acetato de vinilo tejido (PLS) y como pantallas térmicas: LS10 (transparente), LS15 (50 por ciento aluminizado) y LSII (100 por ciento aluminizado). Hubo registros diarios de temperatura nocturna y radiación neta. En el primer caso, el efecto de la cubierta fue mucho más significativo que el efecto de la pantalla; siendo mejor el de los invernaderos con cubierta EVA. Altas pérdidas de energía radiante fueron observadas bajo invernaderos con polietileno. Las pérdidas más bajas fueron registradas en PLS. Sin embargo, la mejor calidad de fruto fue asociada con el uso de pantallas térmicas. En tomate, Salinas y Pearson (1994) evaluaron las siguientes

cubiertas: térmica “Luminal-2 Antifog”, térmica UVI/EVA 1501; no térmica, polietileno claro de baja densidad y dos tipos de acolchado (baja densidad, PE claro; térmica azul M64260). Los porcentajes de transmisión de luz para cubiertas antifog, UVI/EVA y PE fueron 77, 67 y 49 por ciento, respectivamente.

En tomate cultivado bajo invernadero Moya y Alicia (1995) evaluaron diferentes plásticos térmicos (PPP, película América y Zamber) sobre parámetros ambientales de temperatura y luminosidad, y agronómicos como rendimiento y calidad. Las cubiertas térmicas registraron temperaturas significativamente superiores a los testigos, alcanzando mayor importancia los regímenes de temperatura mínima. En estos tratamientos las plantas presentaron un desarrollo más normal que con la testigo, lo que se evidenció en una mayor altura final y un mayor número de racimos por planta. Una película de polietileno de baja densidad de 0.22 mm de espesor causó menor daño por helada que cubierto con la misma película pero de 0.10 mm, y el daño más severo se encontró bajo Tufbell S3000 (Cerne *et al.*, 1994).

En el cultivar de chile Bell Boy, Rumpel y Grudzien (1990) investigaron el efecto de cubiertas de polipropileno sin tejer, cubiertas de polietileno perforado y ventilado y túneles bajos con plástico. Las cubiertas sin tejer y los túneles bajos con plástico resultaron en altos rendimientos iniciales y totales, comparados con cultivos sin cubierta. Las cubiertas comerciales de plásticos perforados desarrollaron un hábito ramificado denso, lo cual resultó en fructificación tardía.

Factores Ambientales en el Invernadero

Radiación

Por radiación se entiende la energía emitida por un cuerpo bajo la forma de ondas electromagnéticas. La temperatura del cuerpo condiciona la cantidad de energía emitida, así como la longitud de onda. La radiación solar que llega a la superficie terrestre se encuentra comprendida entre 300 y 3000 nm de longitud de onda. En este intervalo podemos individualizar cuatro regiones fundamentales: la región de los ultravioletas (uv <400 nm), la del visible (VIS, entre 390 y 750 nm) y la del infrarrojo cercano (NIR), entre 780 y 3000 nm). En la VIS, que comprende casi el 50 por ciento de la radiación global (RG) podemos distinguir la banda entre 400 y 700 nm, que corresponde a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y en términos energéticos a cerca del 45 por ciento de la RG (Tognoni, 2000c).

El uso de la energía para fotosíntesis en los cultivos se restringe a la densidad de flujo (Js^{-2} ó Wm^{-2}) de la radiación incidente en el rango de absorción de la clorofila (400-700 nm). Acorde al proceso de absorción la dimensión más adecuada es la densidad de flujo de fotones ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y corresponde a la radiación fotosintéticamente activa (Krug, 1997; Guzmán, 2000; Tognoni, 2000c).

De un valor de 100 por ciento de la radiación externa, sólo el 65-70% logra penetrar en el interior del invernadero, mientras que el resto es reflejado y absorbido por el techo o cobertura y por la estructura de soporte. De la radiación interna, una parte variable entre el 10 y el 20% es reflejada por el cultivo (albêdo). De esta manera, sólo el 50-60% de la radiación es interceptada por el cultivo (Guzmán, 2000; Tognoni, 2000c).

Aspectos Fisiológicos de la Radiación

Las plantas responden no sólo a la cantidad de radiación disponible (intensidad), sino también a su duración (fotoperíodo) y a su calidad. La RFA es importante para el proceso fotosintético e influye en la morfogénesis desde el punto de vista del fotoperiodismo, de aquí que las radiaciones que nos interesan se encuentren comprendidas entre los 650-655 nm (rojo) y 725-735 nm (rojo lejano) (Guzmán, 2000; Tognoni, 2000c). La primer respuesta a cambios en el ambiente de radiación es la producción de hojas nuevas y estructuralmente alteradas en su anatomía foliar, particularmente la densidad estomática, el grado y forma de los espacios aéreos del mesófilo, que afectan la resistencia al intercambio gaseoso y limitan la asimilación fotosintética; además, se altera el contenido y distribución de pigmentos, lo cual determina la eficiencia de la captura de luz por las hojas e influyen en la fotosíntesis (Lee *et al.*, 2000).

Posteriormente, la planta en conjunto responde de diferentes maneras. En condiciones subóptimas de luz (reducciones de R: FR) se incrementa la altura de la planta, pero cuando es muy baja, la elongación del tallo se disminuye (Ballaré *et al.*, 1990; Ballaré *et al.*, 1991; Kinet y Peet, 1997). En tomate y crisantemo se encontró alta tasa de elongación del tallo durante la noche y baja durante el día, ya que alta irradiación en el día se manifiesta durante la siguiente noche (Bertran y Karlsen, 1994). Heuvelink (1995) encontró que la velocidad de crecimiento del cultivo de tomate presentó una ligera respuesta de saturación a la RFA dentro del invernadero, probablemente causada por un agotamiento de CO₂ en alta irradiación. La velocidad de crecimiento del cultivo varió entre casi 0 gm⁻² día⁻¹ en invierno y 20 gm⁻² día⁻¹ en el verano.

Las plantas tienen mecanismos que revelan información acerca del ambiente luminoso del dosel dentro de los sistemas que controlan los patrones de ramificación y

reparto de asimilados a las estructuras reproductoras y órganos vegetativos de almacenamiento (Ballaré *et al.*, 1995). En *Lilium longiflorum* Thunb hubo diferencias en la capacidad de varias regiones morfológicas del bulbo a responder a reducciones en la irradiación del invernadero. Bajos niveles de carbohidratos en la hoja inducen a movilizar las reservas del bulbo y exportarlas a los brotes en crecimiento (Miller y Langhans, 1989). En tomate, la producción de fruto está fuertemente relacionada a la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo, en casi proporción directa a la pérdida de luz (Cockshull *et al.*, 1992). En el mismo cultivo, la tasa de crecimiento de frutos individuales, el porcentaje de materia seca de los frutos y las partes de crecimiento vegetativo de las plantas se incrementó conforme aumentó la irradiación, resultando en un período de crecimiento más corto desde antesis hasta la cosecha de un fruto (Marcelis, 1993).

Berninger (1994) reporta que con RFA de 0.65 a 2.60 MJ m⁻² día⁻¹, cada fase de *Rosa Híbrida* cv. "Sonia" tuvo diferentes respuestas a la irradiación y temperatura promedio del aire. En cambio, Novoplansky *et al.* (1990) señalan que arbustos de *Rosa híbrida* crecidos bajo películas fluorescentes que incrementan la relación R: FR, ramificaron y tuvieron más crecimiento de yemas florales por rama (rendimiento floral), que películas testigo con similares niveles RFA, pero que no alteran la relación R: FR.

El peso fresco aéreo de plántulas y la época de floración en pepino y tomate, en relación con cubiertas testigo aumentó con materiales interceptores del R y disminuyó con el FR; en girasol sólo hubo retraso en la floración. Sin embargo, en pepino la flor femenina fue menor con R y más alta en el FR. El tomate muestra alta sensibilidad a la relación R/FR (Murakami *et al.*, 1996). En plántulas de sandía, Decoteau y Friend (1991b) encontraron que la elongación de entrenudos y acumulación de biomasa en el

peciolo causada por FR, comparadas con plántulas testigo o expuestas al R, no fue acompañada por reducido crecimiento foliar o radical. En el mismo sentido, plántulas de *Sinapsis alba* y *Datura ferox* mostraron elongación de entrenudos, lo cual fue promovido por sombreado localizado. Este efecto fue observado en plantas que recibieron luz con alta (>0.9) o baja (0.3) relación de fotones en R: FR (Ballaré *et al.*, 1991).

Luz

Caracterización e Importancia

Se ha dicho que, después del agua, la luz es el principal factor que regula la vida de las plantas. A pesar de que es difícil afirmar que un factor sea más importante que otro, lo esencial es que en múltiples formas, la energía radiante es la clave en la historia vital de las plantas (Benavides *et al.*, 1993). La luz es una porción del espectro electromagnético, el cual ha sido dividido en unidades de longitud de onda y frecuencia. En fotobiología de plantas, la luz se clasifica en longitudes de onda (nm) y energía (fotones o quantum) (Decoteau y Friend, 1991a). La luz es esencial para el crecimiento normal de la planta, porque ésta provee de energía para la fotosíntesis y muchas de las señales ambientales que regulan el desarrollo de las plantas (Weiss, 1995).

Las señales de luz son empleadas a través del ciclo de vida para sincronizar el desarrollo, permitir reacciones apropiadas a la competencia e iniciar oportunamente la adaptación a los cambios ambientales (Thompson y White, 1991). Los procesos ecológicamente significativos, en los que hay respuesta o control por señalización de luz, son la germinación de semillas, etiolación, fotoformación y establecimiento de

plántulas, percepción de proximidad y evitación de sombra, aclimatación fotosintética a sombra vegetativa y a alta irradiación, respuestas trópicas, desarrollo de cloroplastos, crecimiento de tallos, pigmentación, apertura estomática, inducción a floración y tasa de floración, senescencia, inducción de dormancia de yemas y tuberización (Smith, 1995; Adrados *et al.*, citados por Flores, 1996).

Al evaluar y modificar la cantidad, calidad, dirección y duración de la luz se pueden optimar y controlar los complejos procesos de desarrollo para incrementar el rendimiento y calidad de la producción agrícola (Espí *et al.*; 1997). Bajo condiciones de invernadero es mejor maximizar la iluminación natural con atención cuidadosa a la cubierta, al diseño y orientación óptima y a los cultivos dentro del mismo, ya que la productividad está fuertemente influenciada por la cantidad de luz que se recibe o se transmite (Moens, 1991; Cockshull *et al.*, 1992; Kinet y Peet, 1997). Por cada 1 por ciento de pérdida de luz en el rango RFA, hay 0.5-3.1 por ciento de pérdida en rendimiento (Benoit y Ceustermans, 1992; Verhaegh, 1981; Pilati y Favaro, 1999). El rendimiento fotosintético es directamente dependiente del nivel de fotosíntesis e incrementa con la intensidad de RFA hasta cierto nivel (saturación), lo cual varía de un cultivo a otro y dentro de épocas de producción (Moens, 1991).

La partición de carbono y translocación en las hojas fuente se modifica directamente por la duración de la luz o indirectamente por su efecto sobre la actividad de demanda (Sitheswary y Janes, 1992); aunque la tasa de asimilación instantánea de la unidad de área foliar está en función de la luz absorbida y la eficiencia de la planta al uso de la luz depende de la vía fotosintética (C_3 y C_4), el potencial hídrico y los niveles de otros factores de crecimiento como la temperatura y la concentración de CO_2 (Krug, 1997).

Alta disponibilidad de asimilados bajo altas condiciones de luz estimula la actividad del meristemo y el crecimiento foliar. La velocidad de producción de hojas se incrementa conforme aumenta la intensidad luminosa (Dieleman y Heuvelink, 1992). Plántulas de *Hopea helferi* y *H. odorata* desarrollaron diferencias en la anatomía, propiedades ópticas y fisiología en condiciones de sombra. La densidad de flujo fotónico influyó en las características de la hoja; aunque la calidad espectral afectó profundamente las células de empalizada en ambas especies; alta exposición de luz incrementó el espesor de la hoja y modificó la arquitectura de interna del mesófilo (Lee *et al.*, 2000). La anatomía foliar afecta la eficiencia de absorción de luz al modificarse los pigmentos, principalmente la clorofila a y b en los cloroplastos. Otros pigmentos, incluyendo los carotenoides y flavonoides (antocianinas) también modifican la absorción. La anatomía foliar influye en la distribución de los cloroplastos en las hojas (Lee *et al.*, 1990).

El crecimiento vegetativo en tomate requiere fluctuaciones ambientales, y resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad; de lo contrario ocurren ciertos efectos dañinos, induciéndose clorosis foliar, hipertrofia de las células de empalizada, alteración de la estructura de plastidios y desaparición de los gránulos de almidón. Baja luminosidad puede incidir de forma negativa sobre los procesos de floración y fecundación; así como en el desarrollo vegetativo de la planta (Kinet y Peet, 1997; Guzmán y Sánchez, 2000).

Un análisis comparativo del crecimiento entre tomate y chile indican que este tiene un 25 por ciento menos que el tomate. La más baja velocidad de crecimiento de chile, no es debida a la poca productividad por unidad de área foliar (tasa de asimilación neta), sino a una reducida producción de área foliar. Las plantas de chile tienen hojas

significativamente más delgadas (mayor área foliar específica) que el tomate (Wien, 1997a). El pimiento es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración. La capacidad fotosintética de la planta de pimiento es menor que la del tomate, por lo que alcanzar un equilibrio adecuado entre la parte aérea y radical; y conseguir el mayor índice de área foliar específica antes de que se inicien los procesos de diferenciación floral, puede ser un factor determinante sobre la calidad de la producción (Guzmán y Sánchez, 2000).

También la luz influye en la iniciación floral durante el desarrollo de plántulas (crecimiento vegetativo) y el desarrollo floral y expresión en las fases tardías del desarrollo de las mismas (Kinet, 1977). Altas condiciones lumínicas ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en plántulas de tomate incrementaron significativamente el peso seco total, peso seco por unidad de área foliar y adelantaron la floración entre 1-2 días, en comparación con $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (McAvoy y Janes, 1990). Similarmente, con $28 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ el rendimiento total de chile se redujo en un 19 por ciento, comparado con plantas ligeramente sombreadas desde el trasplante; además la producción comercial disminuyó en 50 por ciento (Wien, 1997b).

Fotomorfogénesis, Crecimiento y Rendimiento

A largo plazo, el crecimiento depende del desarrollo, el cual es fotomorfogénicamente controlado. A corto plazo (minutos), variaciones en las condiciones de luz afectan la velocidad de crecimiento (acumulación de biomasa) a un grado tal que la luz altera la velocidad de fotosíntesis por unidad de área foliar (Bellaré

et al., 1995; Cerny *et al.*, 1999). Körner (1991) discute la contribución de varias características de la planta como determinantes de las diferencias en la tasa de crecimiento de las plantas entre especies y destaca la participación de factores alométricos (e.g. plastocrón y duración de la hoja). Al afectar la intercepción de la luz, variaciones entre especies en esos factores, pueden completamente enmascarar el impacto sobre el crecimiento de variaciones en la velocidad fotosintética (Küppers, 1994). Entonces, a largo plazo (e.g. días, semanas), cambios en la tasa de fluencia y distribución espectral de la luz influyen fuertemente sobre el crecimiento al alterar la cantidad de partición de biomasa al tejido foliar y la cantidad de área foliar producida por unidad de biomasa invertida. Al respecto, Bruggink y Heuvelink (1987) reportan que una baja RFA de 400 a 300 J/cm²día⁻¹ redujo la tasa de asimilación neta en plantas de tomate, pepino y chile dulce crecidas en invernadero; sin embargo, la tasa relativa de crecimiento permaneció casi sin cambio debido a un incremento en la razón de área foliar (cm²/g).

El hecho de que la mayoría de plantas sobrevivan y prosperen aún en hábitats donde la radiación ambiental parece ser distintivamente favorable, indica que la evolución ha proveído esos sofisticados mecanismos de sensibilidad o capacidad para percibir la luz ambiental (Decoteau y Friend, 1991a). Las plantas usan tal información en un proceso comúnmente referido como fotomorfogénesis, para capturar luz más eficientemente y adaptar su ciclo de vida a fluctuaciones climáticas (Smith, 1982; Benavides *et al.*, 1993; Vierstra, 1993). Fotomorfogénesis significa el desarrollo normal, la aparición del color verde característico por la presencia de la clorofila y pigmentos accesorios en los cloroplastos, la aparición de hojas, tallos, raíz, y en cierto período las estructuras reproductivas (Benavides *et al.*, 1993). La fotomorfogénesis es el control de

la morfogénesis por medio de la luz y ocurre a través de los siguientes fotorreceptores: el fitocromo, el que absorbe la luz del rojo y rojo lejano (600-800 nm); criptocromo, pigmento que absorbe longitudes de onda del azul y ultravioleta de onda larga (uv-A, 320 a 480 nm); fotorreceptor uv-B, absorben radiación ultravioleta con longitudes de onda entre 280 y 320 nm; y la fotoclorofilina α , pigmento que absorbe luz roja y azul y que una vez reducido forma clorofila α (Salisbury y Ross, 1994; Weiss, 1995; Smith, 1995; Terzaghi y Cashmore, 1995).

Fitocromo

El crecimiento y desarrollo son regulados por la interacción entre el ambiente y el programa endógeno de desarrollo. Desde la germinación a floración, la luz controla ciertos procesos, y por ende hay diversas respuestas según diferentes ambientes luminosos (Chory *et al.*, 1996). Bajo una condición ambiental natural, las plantas pasan una muy pequeña proporción de su ciclo de vida en el estado etiolado. Después de cierto período, ellas están expuestas a la luz del día y rápidamente son deetioldadas. Durante este proceso, la expresión de infinidad de genes es afectada de muchas maneras diferentes (Thompson y White, 1991). Análisis genéticos demuestran que las respuestas a la luz no son simplemente puntos finales de la señal lineal de las vías de transducción, sino un resultado de la integración de información de diversos fotorreceptores y genes de regulación negativa, a través de una compleja red de interacción entre componentes de señalización (Chory *et al.*, 1996), donde la luz interactúa con programas de desarrollo endógeno para modular esas respuestas de los genes.

El fitocromo es un fotorreceptor que juega un papel central en acoplar señales de luz externa a una amplia variedad de respuestas de desarrollo en las plantas (Akira *et al.*, 1993; Halliday *et al.*, 1994). El fitocromo es el fotorreceptor primario para deetiolar y regular las plantas etioladas y crecidas en la luz (Carr-Smith *et al.*, 1994). Éste responde a la intensidad luminosa, calidad espectral y estado de polarización. Colectivamente puede absorber fotones sobre un amplio rango de longitudes de onda, desde el rojo lejano al ultravioleta, pero su mayor absorción está en el rojo y rojo lejano del espectro electromagnético (Thompson y White, 1991; Cerny *et al.*, 1999).

Las plantas desarrolladas en la obscuridad contienen, al parecer, únicamente la forma Pr, la cual se cree es fisiológicamente inactiva. Después de irradiación con luz roja la forma Pr se convierte en Pfr, la forma activa, la cual entonces interviene en una serie de eventos morfogénicos (Nakazawa *et al.*, 1991; Weiss, 1995). La aplicación posterior de radiación en el rojo lejano revierte la acción de la luz roja; esta clase de respuestas reversibles es llamada de inducción - reversión y son típicamente estimuladas por radiación de baja fluencia en tiempos que van de segundos a horas (Galston *et al.*, 1980).

La capacidad del fitocromo para interconvertir repetidamente las formas activas e inactivas le permiten a éste actuar únicamente como un switch regulador de la luz durante el desarrollo de la planta. Los primeros datos fisiológicos y bioquímicos sugieren que existen al menos dos pools de fitocromos, uno que predomina en plantas etioladas y otro en plantas crecidas en la luz (Vierstra, 1993). En ese sentido Akira *et al.* (1993) señalan que en ciertos estudios bioquímicos y de biología molecular, se muestra la presencia de múltiples especies de fitocromo, entre ellos los fitocromos A y B. Éstos tienen funciones complementarias en el control de la germinación, desarrollo de

plántulas y floración (Reed *et al.*, 1994). En este caso, los fitocromos actúan como sensores del inicio de luz luego del crecimiento en la oscuridad o como monitores de la calidad de la luz (relación R: FR). El fitocromo A es abundante en plántulas etioladas, pero bajo luz es fuertemente reducido (Morand *et al.*, 1993).

Iluminación Suplementaria

El régimen de radiación en el cual se encuentra la planta en el invernadero se puede modificar de manera ingeniosa utilizando lámparas. La iluminación artificial puede ser de dos tipos; la fotoperiódica, cuyo fin es aumentar la longitud del día (con mayor frecuencia, a reducir la longitud de la noche); y la suplementaria, que se utiliza para aumentar la actividad fotosintética del cultivo (Cerny *et al.*, 1999; Tognoni, 2000c). Para iluminación fotosintética general se alarga el día en lugar de iluminar durante el período diurno, y es necesario garantizar intensidad entre los 50 a 200 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Se utilizan lámparas de vapor de sodio (HPS) o de mercurio, que son mucho más eficientes que las lámparas incandescentes y fluorescentes en la conversión de la energía eléctrica en RFA (Tognoni, 2000c). Al respecto, Black (1992) señala que las lámparas utilizadas en la iluminación suplementaria deben de emitir preferentemente radiación en las bandas de 400-500 nm y 600-700 nm; igualmente el uso de lámparas que emiten mayor cantidad de luz azul, ya que se obtiene un crecimiento más compacto, se reduce la longitud y peso del tallo e incrementa el número de ramificaciones y la resistencia de los tallos. La radiación en la banda del rojo origina mayor alargamiento de los tallos; pero dada su importancia en la fotosíntesis y fotomorfogénesis no debe de eliminarse de la luz suplementaria.

McAvoy *et al.* (1989) en tomate cv. Dombito compararon la luz suplementaria (HPS) con luz natural en el invernadero. Encontraron alta correlación positiva ($r=0.9479$) entre el rendimiento total y el flujo de fotones fotosintético (PPF) recibido desde anéresis a cosecha. El PPF en la fase de plántula se correlacionó fuertemente ($r=-0.867$) con tiempo a anéresis. Asimismo, cambios en la relación de área foliar (LAR), peso específico de hojas y tasa relativa de crecimiento indicaron que la iluminación HPS incrementó la tasa de desarrollo de plántula sin alterar el patrón de desarrollo.

Decoteau y Friend (1991a) sometieron plántulas de tomate a la influencia de luz al final del día (EOD) en el R y FR por dos semanas en ambiente controlado, y luego las colocaron en invernadero en condiciones de luz normal. Antes del trasplante las plántulas se mostraron más cortas y tuvieron menos área foliar que las testigo. Un segundo experimento con luz blanca fluorescente (alta en R) redujo la altura y el área total de la hoja. En el mismo sentido, Chi *et al.* (1998) evaluaron diferentes ciclos luminosos sobre el crecimiento de plántulas de tomate cv. Momotarau y chile cv. Nockkwang. La altura y área foliar en tomate se redujeron conforme el ciclo se acortó. El contenido de clorofila, materia seca de brotes, relación brotes-raíces y área foliar específica fueron significativamente afectados conforme el ciclo lumínico se acortó de 24 a 6 hr. Esto sugiere que los ciclos luminosos más cortos disminuyen el crecimiento y calidad de plántulas de tomate y chile.

El tratamiento con luz fluorescente a plántulas de chile Bell cv. Keystone Resistant Giant No.3 redujo la altura de la planta, área foliar, peso de fruto y cantidad de fruto a la primer cosecha; sin embargo, la producción de fruto total no se afectó (Friend y Decoteau, 1995). Un suplemento de luz de $60 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aceleró la floración en 20 a 25 días, mejoró la calidad y eliminó diferencias en el crecimiento y calidad de *Antirrhinum*

majalis L. entre tratamientos de diferentes cubiertas. La capacidad fotosintética de *Matthiola incana* L. fue más baja en todas las cubiertas de polietileno que bajo capa sencilla de vidrio. La materia seca fue más influenciada por un área foliar más grande causada por temperatura de la hoja más alta, que por la tasa de fotosíntesis neta (Dansereau *et al.*, 1998).

Temperatura

Importancia de la Temperatura

La temperatura no es factor que suministre directamente energía ni constituyentes para el crecimiento, pero influye en primer lugar la velocidad de las reacciones químicas (Q_{10}). Controla el desarrollo de las plantas, incluyendo los procesos morfogénicos de diferenciación. Estos aspectos, convierten a la temperatura en el factor más importante en el control del crecimiento, la distribución de las plantas, control de zonas climáticas, ciclos de cultivos, velocidades de crecimiento y como consecuencia de esto la distribución cuantitativa, cualitativa y temporal de la cosecha (Guzmán, 2000).

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura. A menudo, un cambio de pocos grados da lugar a un cambio significativo en la tasa de crecimiento. Cada especie o variedad posee en cualquier estado determinado de su ciclo de vida y en cualquier conjunto determinado de condiciones de estudio, una temperatura mínima debajo de la cual no crece, una temperatura óptima (o rango de temperaturas) en la que crece con una tasa máxima y una temperatura máxima por encima de la cual no crecerá y con la que incluso puede morir (Salisbury y Ross, 1994). La temperatura óptima varía

con la radiación solar; mientras mayor es la energía radiante, mayores son las exigencias térmicas. Los valores elevados de la temperatura diurna o nocturna en el caso de baja disponibilidad luminosa ($<2-3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), pueden inhibir la floración más que nada en condiciones de día corto (Tognoni, 2000a).

Durante el verano o desde fines de primavera hasta principios de otoño, se presenta el problema de reducir la energía radiante que penetra en el interior del invernadero, para evitar que se eleve excesivamente la temperatura interna o reducir los daños causados a las hojas o las flores, más que nada en el caso de las plantas sciáfilas y en muchas especies ornamentales (Hochmuth y Hochmuth, 1991; Antonio *et al.*, 1994; Tognoni, 2000c). Durante la mayor parte del ciclo productivo, la temperatura excesiva del invernadero provoca daños a la planta; por ejemplo, puede haber necrosis de las hojas, se eleva la transpiración y finalmente se afecta el buen rendimiento del cultivo; además de la salud de los trabajadores que realizan en pleno verano las labores culturales (Alpi y Tognoni, 1991; Matallana y Montero, 1995; Pilati y Favaro, 1999).

Efectos de la Temperatura en Chile

Conforme se incrementa la temperatura, la tasa de elongación del tallo y la relación de peso seco brote - raíz también se incrementan (Kinet y Peet, 1997). La elongación inicial de la raíz y ramificación son mecanismos altamente dependientes de la temperatura e incluso en Chile se altera directamente el estatus nutrimental de plántulas al afectarse la absorción de nutrientes y el transporte de las raíces a los brotes (Dufault y Melton, 1990). En la misma especie se afecta la velocidad de producción y reparto de materia seca al interior del tejido foliar. El crecimiento en su fase vegetativa

es mucho mayor en temperaturas de 25-27 °C en el día y 18-22 °C en la noche. Temperaturas más bajas reducen la productividad futura al incrementar el peso específico foliar y disminuyen la relación de área foliar al peso seco total de la planta. La materia seca total y el área foliar se optiman a 20-22 °C de temperatura media y decaen fuera de este rango (Wien, 1997b). Al respecto, Choe *et al.* (1988) evaluaron la temperatura e intensidad luminosa sobre la calidad de plántulas de *Capsicum annuum* L. en la etapa de trasplante. Encontraron que el peso seco y área foliar fueron mayores a 28 °C y a 33.5 Klx de luz y la mayor tasa fotosintética (16.6 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹) fue a 23 °C. Choe *et al.* (1994) reportan que el área foliar y el peso seco de plántulas de chile se incrementó conforme lo hizo la temperatura nocturna del aire y del suelo, similarmente se manifestó con el peso seco de la raíz. En algunos casos, una excesiva temperatura puede provocar el desarrollo partenocárpico y deformar el chile pimiento (Tognoni, 2000a).

Efectos de la Temperatura en Tomate

Las altas temperaturas limitan o evitan la producción de tomate en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo. Se afectan adversamente los procesos de crecimiento vegetativo y reproductivo, finalmente el rendimiento y calidad del fruto (Abdul-Baki, 1991). Bar-Tsur (1977), citado por Charles y Harris (1972), señala el efecto de las altas temperaturas sobre la eficiencia fisiológica en tomate cv. "Saladette", el cual fructificó mejor que "Roma" a esas temperaturas. La tasa fotosintética de Saladette presentó una adaptación a estrés por calor, pero "Roma" no presentó tal

adaptación. Después de 24 hr de pretratamiento a 40/18 °C, la tasa fotosintética de “Saladette” fue más grande en 24 y 35 °C que en “Roma”.

El efecto de la temperatura sobre la respuesta fotosintética y el crecimiento se estimaron en *L. esculentum*, *L. hirsutum* y sus híbridos. En 25/18 °C todos mostraron similar respuesta en fotosíntesis; pero en 12/5 °C sólo *L. hirsutum* y los híbridos mostraron habilidad para aclimatarse a bajas temperaturas por incremento de sus tasas fotosintéticas. *L. esculentum* en 5 °C tuvo 4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; en 15 °C, 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; en 25 °C, 24 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La conductancia de la hoja tuvo cambios ligeros en los dos genotipos y en la F1 a bajas temperaturas, con una mayor conductancia de 4.35 mm s^{-1} en *L. hirsutum* a 10 °C y de 2.03 mm s^{-1} en *L. esculentum*; mientras que en 25 °C, *L. esculentum* registró 10.03 mm s^{-1} ; 8.63 mm s^{-1} en *L. hirsutum* y 11.86 mm s^{-1} en el híbrido (Vallejos y Percy, 1987).

Las altas temperaturas que se presentan durante el día (primavera y verano) ocasionan en las plantas disturbios fisiológicos que causan una disminución en la cantidad y calidad del producto cosechado. Si bien las altas temperaturas adelantan el período de producción, lo que pudiera tomarse como ventaja, ésta queda prácticamente oculta, pues el daño es mayor (Quiroga, 1992). Temperaturas superiores a 11°C durante el desarrollo de la planta de tomate en almácigo tuvieron influencia en la inducción floral y cuajado de los primeros frutos y por lo tanto precocidad en la cosecha (Bretones, 1995). En genotipos de tomate, tanto de hábito determinado como indeterminado, el rendimiento es influenciado por caída de flor debido a la temperatura (Santiago *et al.*, 1998).

Por otro lado, el crecimiento de plántulas puede ser manipulado al controlar la temperatura y el fotoperíodo (Morone *et al.*, 1995). Noto y Lamalfa (1986) durante dos

semanas expusieron plántulas de tomate de los cultivares Precodor, Vemone and Marmande Raf a temperaturas de 7, 14 y 21°C entre 8 y 16 hr y a 21 °C el tiempo restante. El enfriamiento redujo el número de hojas y longitud del tallo, se acortó el ciclo de siembra a floración en las plantas tratadas con las temperaturas más bajas y expuestas por mayor tiempo. En tomate cv. Sun Cherry crecido bajo condiciones normales en 1992 y en 1993 con baja temperatura y baja irradiación, el número de frutos cosechados disminuyó y por ende el rendimiento. El porcentaje de fruto rajado se incrementó y la firmeza de la pulpa disminuyó. Sin embargo, el peso del fruto, el color y el contenido de sólidos solubles totales y dureza de la piel no fueron afectados (Ohta *et al.*, 1994).

Li *et al.* (1997) trabajaron con bajas temperaturas en la noche (6-12 °C) durante el desarrollo de plántulas. Se incrementó la severidad y tipos de malformaciones en el fruto. El período más susceptible empezó cuando las plántulas tuvieron entre 2-4 hojas verdaderas. Rozek *et al.* (1991) colocaron plántulas de tomate cultivar Celena F1 en una solución nutritiva cuando tuvieron de 3-4, 5-6 y 7-8 hojas desarrolladas; además a temperaturas nocturnas de 11 y 17 °C. Los resultados obtenidos indican que las plantas crecidas a temperaturas nocturnas más altas tuvieron las más grandes láminas foliares, ya que éstas afectan el contenido de pigmentos fotosintéticos.

Métodos de Control de Temperaturas Máximas

Altas temperaturas e inadecuada humedad durante fines de primavera y verano son los factores más importantes que determinan rendimiento y calidad; promueven la incidencia de plagas y enfermedades. Son a los que hay que prestar una atención especial, para adoptar equipo efectivo de bajo costo en mejoras del ambiente del

invernadero, tales como pantallas térmicas y de sombreado, y sistemas pasivos de control ambiental (Yüksel, 1998). En el diseño moderno de un invernadero, por razones económicas y para que se pueda utilizar más durante el año se controlan las temperaturas, ya sean altas o bajas. Estas exigencias ocurren más frecuentemente durante el verano, pero puede haber la necesidad también de hacerlo en el invierno cuando, en situaciones especiales se tienen fuertes fluctuaciones térmicas (Tognoni, 2000a). El reducir la temperatura es uno de los mayores problemas de la horticultura protegida en climas cálidos, porque no es fácil refrigerar el invernadero sin invertir cantidades relativamente altas de instalaciones y equipos. A pesar de esto se han ideado algunas técnicas para amortiguar el efecto de las altas temperaturas.

Sistemas de sombreado. En la horticultura, la sombra se utiliza para la producción de plántula, evitando el estrés que la radiación solar directa provoca en las plantas jóvenes, obteniendo un mejor crecimiento en tamaño, color y salud para obtener una buena cosecha posterior (Palacios, 1995). El uso de sombra luz (25-50 por ciento) durante el crecimiento de plántulas, ha sido recomendado para incrementar el rendimiento de chile bell en un ambiente tropical al maximizar la producción de área foliar (Schoch, 1972). En la misma especie, los tratamientos de sombreado reducen drásticamente el daño de escalde al fruto por el sol e incrementan el tamaño, quizás como resultado de un incremento en el número de semillas por fruto (Wien, 1997b). En plántulas crecidas por 60 días en invernadero con temperaturas nocturnas de 13, 18 y 23 °C y 0, 25, 40, 55 y 70 por ciento de luz incidente; el crecimiento fue mejor a 23 °C sin sombreado; la reducción del crecimiento debida a éste fue insignificante a una temperatura nocturna de 13 °C, pero fue severa a 23 °C (Choe *et al.*, 1988)

Shaheen *et al.* (1995) produjeron plántulas de tomate cv. Dombo, chile cv. Gedeon F1 y pepino cv. Katia F1 expuestas a intensidad luminosa de 100 (testigo), 65, 49 y 37 por ciento en un invernadero de plástico. Conforme se incrementa el nivel de sombra, el peso fresco y seco de las plántulas se reduce. Los más altos valores de la tasa de asimilación neta (TAN) para las tres especies fueron obtenidos en el tratamiento testigo; es decir, conforme disminuye la intensidad lumínica, los valores de la TAN y el contenido total de clorofila también se reducen. En un estudio similar, Kwon *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la sombra (0, 30 automático, 30 fijo y 50 por ciento fijo) en tomate y pepino. Encontraron que se redujo la temperatura del aire al interior del invernadero de plástico, además la temperatura de la hoja. La fotosíntesis varió de acuerdo a la cantidad de radiación fotosintéticamente activa. El sombreado automático de 30 por ciento incrementó el rendimiento y calidad de fruto comercial comparado con los otros tratamientos.

Sistemas Estáticos de Sombreo. El blanqueo o encalado para disminuir la radiación incidente (como medio para disminuir la temperatura del aire) es una práctica casi generalizada en primavera y verano. El blanqueo de las paredes, basado en carbonato cálcico o de cal apagada es el sistema de sombreado más extendido en la horticultura protegida, aunque éste presenta una serie de inconvenientes (Guzmán y Sánchez, 2000). El primer aspecto negativo es la permanencia de la cal en el invernadero durante períodos cubiertos; otro es el consumo de mano de obra en las operaciones de aplicación y limpieza. Además, la aplicación de la cal no puede hacerse nunca con homogeneidad y por tanto existen diferencias en la cantidad de luz que llega a las plantas. La reducción de la radiación al encalar puede llegar a limitar hasta en 30 por ciento la radiación global

exterior, lo que puede afectar a la producción. El uso de esta técnica debería limitarse a aquellos casos en los que pueda producirse daños en el fruto por exceso de radiación, conocidos como “golpes de sol”; por ejemplo, en pimiento y tomate (Guzmán y Sánchez, 2000). La preparación de la mezcla también influye en la radiación: conforme aumenta la concentración de blanqueante la transmisión se reduce y no se favorece la transmisión de RFA frente a la del infrarrojo corto. La cal tiene distinta acción según el tipo de invernadero sobre el que se utilice; por ejemplo, un invernadero bien ventilado notará menos el efecto del encalado que otro más hermético. Aunque el encalado no logra por sí solo un clima óptimo de cultivo en zonas cálidas, su relativa efectividad y la economía de su uso explican la popularidad de esta labor (Lagier, 1990; Alpi y Tognoni, 1991; Matallana y Montero, 1995; Pilati y Favaro, 1999).

Para el cultivo de plántulas con períodos de alta insolación, Bretones (1995) recomienda encalar la cubierta con una dosis de 1 kg de carbonato de calcio en 10 litros de agua en una sola aplicación; en su caso dos, si se requiere mayor sombreo. Francescangeli *et al.* (1992), citados por Matallana y Montero (1995), compararon el efecto del blanqueado aplicado en dos densidades: 95 y 34 g de cal hidratada en disolución de 1 kg de cal por 5 litros de agua. En general las diferencias de temperatura entre el testigo y los invernaderos blanqueados fueron de 2 a 3 °C con la ventanas totalmente abiertas. La reducción media de la temperatura de la planta del tomate fue de 4.6 °C para el blanqueado denso y 3.3 °C para el liviano. El blanqueado afectó mucho más a la temperatura del suelo desnudo y la superficie logró un descenso térmico de 8 ó 9 °C estando el invernadero totalmente abierto. Este hecho puede ser muy importante durante las primeras fases de desarrollo del cultivo.

Las mallas de sombreo con polietileno, polipropileno, poliéster o derivados acrílicos se usan también para este propósito, aunque son poco selectivos; es decir, reducen tanto la transmisión de radiación fotoactiva como la del infrarrojo corto (Alpi y Tognoni, 1991; Matallana y Montero, 1995). El uso de pantallas (mallas) es un método simple, efectivo y barato de evitar el exceso de irradiación solar y el consecuente sobrecalentamiento del aire y de los cultivos dentro del invernadero (Antonio *et al.*, 1994). Bretones (1995) para la producción de plántulas recomienda cubrir el invernadero con malla sombra. Existen telas desde el 15 hasta el 100 por ciento de sombra, pasando por una amplia gama de porcentajes intermedios. Durante el día absorben la radiación solar, bajan la temperatura y la evaporación; y durante la noche, cuando están colocadas en el interior ayudan a guardar la humedad y el calor (Palacios, 1995). En ese sentido, Jovicich *et al.* (1999) en Chile cubrieron el invernadero con una tela de sombreo negra (30 por ciento) y se redujo la temperatura máxima del aire en 4 °C comparada con temperaturas del aire exterior de semanas anteriores. Las temperaturas mínimas fueron de 20 °C y las más altas alcanzaron 37 a 40 °C con los laterales del invernadero abiertos y ventilación forzada. Antonio *et al.* (1994) señalan que si el objeto es bloquear la admisión de la radiación solar y prevenir sobrecalentamiento del ambiente del invernadero en verano, entonces éste deberá alinearse en dirección este - oeste, considerando que la pantalla (malla) tiene baja transmisión y su lado inferior la más alta absorbancia.

Sistemas Dinámicos de Sombreo. Las pantallas o cortinas móviles son especialmente eficaces, ya que se extienden automáticamente sólo en caso de que la irradiación externa del invernadero sea superior a un determinado umbral, lo cual permite tener una

iluminación normal durante gran parte del día con efectos positivos en el crecimiento o en desarrollo del cultivo y proporcionar sombra sólo en las horas de mayor cantidad de sol (Tognoni, 2000c).

En algunos invernaderos se instalan sistemas de riego en su cumbrera (Riego de la cubierta o velos de agua), de modo que es posible hacer que una película de agua fluya sobre la pared (Alpi y Tognoni, 1991; Pilati y Favaro, 1999). Existen pocos datos, pero Matallana y Montero (1995) citan a algunos autores que reportan una reducción de temperatura en 8 °C en el techo, pero en el ambiente y las hojas de tomate sólo bajó en menos de 1 °C; en otro trabajo se disminuyó la temperatura en 3.5 °C menos que el testigo, pero al agua se le añadió un colorante.

Ventilación.

Natural. Los sistemas de ventilación más usuales son de tipo pasivo mediante ventanas laterales y, en algunos casos, también con ventanas cenitales. El intercambio del aire entre el interior y el exterior incide de una manera clara en el clima del cultivo. Se puede bajar la temperatura abriendo oportunamente los ventanales, cuya superficie (abierta), tiene que tener unas proporciones óptimas en relación con el tipo y la superficie total del invernadero (Matallana y Montero, 1995; Alpi y Tognoni, 1991). La eficiencia de ésta ventilación está en general muy limitada, debido a que los problemas fitosanitarios forzan a los agricultores a la instalación de densas mallas anti-insectos que dificultan el paso del aire (Guzmán y Sánchez, 2000). La posibilidad de enfriar el invernadero por medio de ventilación depende del viento en la parte interna. Su efecto está relacionado con la velocidad y con la dirección: el efecto aumenta con la velocidad, excepto cuando

su dirección es paralela o perpendicular al invernadero. En los tratamientos así llamados “wind”, cuando en la regulación de la temperatura se tiene en cuenta la velocidad del viento, la longitud de los tallos es menor del 7 por ciento, pero existe un ahorro de combustible del 14 por ciento (Tognoni, 2000a). Pocos trabajos se han dedicado al estudio de este fenómeno en relación con los invernaderos.

Ventilación mecánica. El uso de ventiladores permite un control más preciso de la temperatura del invernadero que el que puede lograrse con la ventilación pasiva; no obstante, su uso es moderado por el precio de la instalación y por el consumo de energía eléctrica (Matallana y Montero, 1995). La temperatura excesiva y alta humedad proveen de una situación donde la moderación de la temperatura dentro del invernadero no puede ser llevada a cabo eficientemente, y conforme dichos factores se incrementan este sistema de enfriamiento es menos eficiente (Hochmuth y Hochmuth, 1991).

Refrigeración por Evaporación de Agua. El agua al pasar del estado líquido a vapor, absorbe calor. Si se dispone en el invernadero de algún equipo capaz de vaporizar agua, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero y por lo tanto bajará la temperatura ambiente. Los sistemas de este tipo empleados en la horticultura protegida son dos:

Pantalla Evaporadora (Washed Air, Cooling, Cooling System). El control de las altas temperaturas, además de ser por ventilación y por sombra, que no reducen la temperatura a valores análogos a los externos, se puede efectuar con otras técnicas que permiten la disminución, hasta llegar a valores iguales o incluso más bajos que los

externos. Un sistema de enfriamiento evaporativo es ventajoso y deseable para la producción de plantas, donde hay disponibilidad de aguas residuales y/o saladas (Lüchow y Zabeltitz, 1992). Se trata de una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se sitúa a lo largo de todo un lateral y un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores eléctricos. El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe humedad y baja su temperatura y luego es expulsado por los ventiladores. Se ha podido observar que en un invernadero con temperatura interior de 50 °C y con una humedad relativa (HR) de 20 por ciento aproximadamente, después de 15 minutos de funcionar el sistema se ha registrado una temperatura de 27 °C y una HR de 70 por ciento (Matallana y Montero, 1995; Alpi y Tognoni, 1991).

La capacidad máxima de enfriamiento que permite la técnica es de más o menos 1.80 °C de la diferencia de la temperatura entre el bulbo seco y el mojado; por lo tanto, el sistema es más eficiente en climas secos, donde la humedad relativa alcanza valores inferiores al 50 por ciento y admite un intercambio de aire de $0.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$. La técnica, a pesar de mostrar varias ventajas como su alta eficiencia de enfriamiento y distribución uniforme de la temperatura, bajo consumo de agua, resistente contra la arena y polvo, largo tiempo de operación con bajo mantenimiento, entre otras (Lüchow y Zabeltitz, 1992); requiere de estructuras especiales y que son más costosas, comparadas con los sistemas precedentes. Por lo tanto, se puede utilizar sólo para producciones de gran aprecio como las plantas ornamentales (Tognoni, 2000a).

Nebulización Fina (“High-Pressure-Fogs”). La nebulización densa o “fog” se logra a altas presiones y con ayuda de una turbina, un gran número de partículas de agua de un

tamaño de 10 micras se genera y de esa manera se distribuyen en el aire (Pilati y Favaro, 1999). Debido al escaso tamaño de las partículas su velocidad de caída es muy baja, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse, sin llegar a mojar los cultivos. Con dicho sistema se logra en el interior del invernadero una temperatura inferior a los 10-15 °C en relación con la exterior (Alpi y Tognoni, 1991; Matallana y Montero, 1995; Guzmán y Sánchez, 2000). Para un buen mantenimiento e instalación es necesario contar con aguas de muy buena calidad o, en su defecto, instalar pequeñas unidades desalinizadoras. Una opción interesante sería la de recoger las aguas de lluvia para ser utilizadas en estas instalaciones (Guzmán y Sánchez, 2000).

Otros métodos. Aunque no está todavía muy difundido se da el uso de las películas “enfriantes”, las cuales pueden reflejar, por lo menos en parte, la radiación infrarrojo cercano. Esto parece ser muy prometedor en el caso de los invernaderos que se utilizan sólo para cultivos en la primavera-verano o para los cultivos con menos exigencia luminosa (Espi *et al.*, 1997;

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE Y PIMIENTO CON CUBIERTAS DE POLIETILENO REFLEJANTE PARA DISMINUIR LA TEMPERATURA EN INVERNADERO

TOMATO AND BELL PEPPER SEEDLINGS PRODUCTION UNDER REFLECTING POLYETHYLENE COVERS TO DECREASE TEMPERATURE IN GREENHOUSE

Eleno Samaniego Cruz¹, José Gerardo Ramírez Mezquitic¹, María Del Rosario Quezada Martin², Adalberto Benavides Mendoza¹, Manuel De La Rosa Ibarra³

RESUMEN

Se estudió el efecto de cubiertas plásticas con aditivos reflejantes sobre la radiación y temperatura internas del invernadero, así como sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). Se utilizaron dos películas experimentales (CIQA-01 y CIQA-02) y una película de polietileno convencional como testigo. Cada una se colocó en un invernadero tipo capilla de 180 m². Se midió la radiación total, la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la temperatura a dos alturas, dentro y fuera del invernadero. Como variables de respuesta de las plántulas se determinó asimilación de CO₂, resistencia estomática (RE), área foliar, altura de la planta, diámetro del tallo y la producción de materia seca. La transmisión de la RFA fue de 59% para el testigo y de 56 y 42%, para CIQA-02 y CIQA-01. Asimismo, las películas CIQA-02 y CIQA-01 dieron

¹ Departamento de Horticultura, ³ Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 25315. Tel. (8) 417-3022 extensión 395.

² Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Ing. Enrique Reyna No. 140. Apdo. Postal 379, Saltillo, Coah. 25100. México. e-mail: rquezada@polimex.ciqua.mx. Tel. (8) 415-3030 extensión 220. Fax. (8) 415-48-04.

lugar a temperaturas menores en 0.5 y 1.5°C, respectivamente, frente al testigo. Las películas CIQA-02 y CIQA-01 redujeron la asimilación de CO₂ en 24 y 38% para tomate y en chile de 29 y 33%, respecto al testigo. La RE no mostró diferencias significativas entre las películas ni entre especies, pero numéricamente fue mayor en las películas de CIQA. Aunque finalmente el testigo registró los valores más altos de radiación, temperatura y asimilación de CO₂, esto no se reflejó en mayor diámetro del tallo, área foliar y biomasa de las plántulas, en comparación con los otros tratamientos. En un promedio de ambas especies y entre las películas CIQA-02 y CIQA-01, éstas registraron 19, 2.75 y 2.98% más en área foliar, biomasa y diámetro del tallo, respectivamente; pero en altura 5.1% menos que el testigo, lo cual resulta favorable en la producción de plántula.

Palabras clave: Asimilación de CO₂, Control Climático, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Capsicum annuum* L., Resistencia Estomática, Transmitancia.

SUMMARY

Polyethylene covers modified with reflecting additives were used to enclose greenhouse structures in order to examine the temperature regime and the development of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and sweet pepper seedlings (*Capsicum annuum* L.). Two experimental films (CIQA-01 CIQA-02) and a conventional polyethylene film were applied each in a 180 m² greenhouse. Total and photosynthetically active radiation (PAR) was measured, external and internal temperatures of the greenhouse were quantified at two heights. Seedling response was described by CO₂ assimilation rate, stomatal resistance (RS), foliar area, stem diameter, plant height, and dry weight. Average PAR transmittance inside the greenhouse were

59%, 56%, and 42% for conventional film, CIQA-02 and CIQA-01, respectively. Also, the reflective experimental films CIQA-02 and CIQA-01 gave rise to reductions in 0.5 and 1.5°C, respectively, in the temperature of the greenhouse. On the other hand the highest rate of CO₂ assimilation was showed by the seedlings under the conventional film. The experimental films CIQA-02 and CIQA-01 caused a 24% and 38% reduction in CO₂ assimilation for tomato, and a 29% and 33% reduction for sweet pepper. As well RS did not show significant differences between the films neither between species, but was higher in the experimental CIQA films. Although finally the conventional film registered the highest values of radiation, temperature and CO₂ assimilation, this was not reflected in greatest stem diameter, leaf area, and plant dry weight, in comparison to the experimental films. Considering the average of both species and both CIQA-02 and CIQA-01 films, these registered 19, 2.75, and 2.98% more leaf area, dry weight, and stem diameter, respectively. The seedling height in the experimental films was 5.1% less than the conventional film, which is favorable in seedling production.

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Capsicum annuum* L., Transmittance, Climatic Control, CO₂ Assimilation, Stomatic Resistance.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es evidente su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. En México, el uso de invernaderos ha adquirido auge para la producción en gran escala de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annuum* L.). Los avances en el trasplante han contribuido al crecimiento de la industria, al incrementar la seguridad de los cultivos (Wien, 1997a; Orzolek y Lamont, 1999).

Es posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, de aquí que la industria hortícola y la de plásticos en la agricultura hayan puesto énfasis en el factor luz. En invernadero son factores clave la intensidad y la calidad de la radiación (balance espectral), ya que modifican la temperatura interna de la estructura y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides, 1998). Las plantas son organismos que carecen de movilidad y exhiben por ello una serie de adaptaciones en el tamaño, composición y eficiencia de los sistemas de captura de radiación que compensan las variaciones en la disponibilidad de energía solar (Geiger y Servaites, 1994). La adaptación se consigue por la acción conjunta de diferentes fotorreceptores (clorofilas, carotenoides, fitocromos, etc.), con los cuales la planta percibe las características de la radiación como duración, intensidad, dirección y calidad espectral (Smith, 1995).

La temperatura afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, el equilibrio de carbohidratos y reguladores del crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000a). Durante el verano, un problema que enfrentan los productores que utilizan invernaderos son las elevadas temperaturas, las cuales disminuyen la calidad de hortalizas y flores, y en plántulas tiernas causan quemaduras.

Para reducir la radiación solar y atenuar la temperatura, se utilizan telas, malla sombra y aplicación de carbonato de calcio sobre las cubiertas. Esta última práctica reduce la vida útil del polietileno, ya que el encalado extrae los aditivos de las películas y afecta sus propiedades. Finalmente, el uso de estos métodos, otros equipos y tecnologías elevan en forma considerable los costos de producción, debido al precio, instalación, funcionamiento y mantenimiento.

Las investigaciones enfocadas a reducir las altas temperaturas con un control pasivo son escasas, de aquí la necesidad de disponer de plásticos para cubiertas de invernadero que modifiquen la radiación y disminuyan la temperatura, sin afectar la calidad de las plantas. En esta problemática, el Centro de Investigación en Química Aplicada ha desarrollado dos prototipos de materiales plásticos con las propiedades señaladas y de larga duración. En el presente trabajo se reportan los resultados de investigación sobre la validación de las películas, con la finalidad de que los productores las sustituyan con éxito por las prácticas actuales de control de temperatura. Los objetivos de estudio fueron: determinar el efecto de las películas plásticas “termorreguladoras” sobre la radiación y temperatura internas del invernadero y evaluar su influencia sobre el crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate y pimiento morrón.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante el ciclo primavera verano de 2000, en invernaderos del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila. Consistió en evaluar el efecto de dos prototipos de cubiertas de invernadero: CIQA-01 y CIQA-02 sobre plántulas de tomate cv. Floradade y de chile pimiento cv. Capistrano. Se compararon con una cubierta convencional o testigo color transparente.

Se utilizaron tres invernaderos tipo capilla, de 180 m² cada uno, y en charolas de 200 cavidades se sembraron 72 de tomate y 96 de chile, usando como substrato el Peat Moss Premier Promix PGX. La siembra de chile fue el 16/03/00, y la de tomate, el 17/03/00, depositando una semilla por cavidad y se dio un riego pesado. Las charolas se

estibarón y taparon con un plástico negro hasta que germinó 85% de la semilla. Luego se distribuyeron al azar dentro de los bancales y en el invernadero respectivo. Se utilizó un Diseño Experimental Completamente al Azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones de 10 plántulas cada una.

El riego se aplicó por aspersión en forma manual dos a tres veces al día, cuidando mantener sólo húmedo el sustrato. Durante las primeras cuatro semanas se aplicaron 200 L de agua y luego 400 L. El fertilizante se aplicó diariamente en el primero de los riegos, básicamente fuentes solubles de Nitrato de calcio, Nitrato de potasio, Superfos 12-60, Grofol, Raizal, Nitrocel, Lobi 44, Foltron Plus, Poliquel Mult y Sequestrene. La cantidad y fuentes variaron conforme el desarrollo de las plántulas; pero en la etapa inicial se alternó el Raizal y Superfos. El control fitosanitario fue preventivo con aplicaciones de Tecto 60, Captán, Bavistín y Confidor.

Para registrar las variables climáticas, en cada invernadero se colocó un sensor Quantum (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska) a 40 cm del piso, para medir la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, y un Pyranómetro del mismo tipo para la radiación total (RT), en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Para la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) se colocó un termopar (LI-COR Inc.) a 80 cm sobre el nivel de las charolas (temperatura inferior), y otro bajo la cubierta, a 40 cm de ella (temperatura superior). Como referencia, al exterior de los invernaderos, a 40 cm del piso se ubicó un sensor de RFA y otro de RT, así como dos termopares; uno, a 80 cm sobre el piso y el otro a 2.20 m. Todos los sensores fueron conectados a equipos Data Logger LI-1000 de LI-COR Inc., los cuales registraron datos cada minuto y obtuvieron medias cada hora, durante 24 horas y por 45 días a partir de las cero horas del día 29 de marzo de 2000.

En una curva de respuesta de fotosíntesis previa, se detectaron las horas de máxima actividad fotosintética (13:00, 14:00 y 15:00 p.m.) y en ellas se hicieron las lecturas de asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con un analizador infrarrojo de gases LI-6400 de LI-COR, Inc.. Se eligieron hojas totalmente expandidas en chile y foliolos en tomate, de tres plántulas de diferentes charolas. Fue en días con cielo despejado y a intervalos de una hora entre lecturas. La secuencia de medición en los tres invernaderos y en las tres horas fue completamente al azar. El tomate se evaluó cuatro veces y el chile cinco. Se reportan datos de tres lecturas instantáneas del equipo, de las horas de medición y de tres repeticiones. De forma simultánea a la lectura anterior se determinó la resistencia estomática (RE), la cual se expresa en $\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$.

Para las variables agronómicas se realizaron muestreos cada ocho días; en tomate cuatro, a partir del día 10 de abril; y en chile cinco, del 17 de abril en adelante. Hubo cuatro repeticiones, cada una compuesta de tres charolas y de éstas se extrajeron al azar 10 plántulas. Se les determinó el área foliar ($\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$) con el medidor de área foliar Modelo LI-3100 de LI-COR Inc.; la altura (cm) con una escala y el diámetro del tallo (cm) con un Vernier.

Los distintos componentes (hojas, tallo y raíz) se colocaron en bolsas de papel estraza y luego dentro de una estufa Blue M-Electric Company a 65-70 °C durante 48 horas. Posteriormente se determinó el peso seco total ($\text{mg}\cdot\text{planta}^{-1}$) en una balanza electrónica AND-HR-120.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La transmitancia de los polietilenos (PE) a la radiación total (RT) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). El convencional, respecto al CIQA-01, registró un 18%; pero en el promedio (Tukey, $p \leq 0.05$) fue estadísticamente igual a CIQA-02 (Cuadro 1). La radiación dentro de los invernaderos, con respecto al total exterior ($592.50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), se disminuyó en 34.72, 35.3 y 46.63% para los PE testigo, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente. Tognoni (2000b) señala que de 100%, sólo el 65-70% penetra al interior del invernadero; Krug (1997) reporta 50-70% y Cockshull *et al.* (1992) un 58% en los meses de enero y febrero, atribuyéndolo entre otros aspectos, a la época del año y a pérdidas de reflexión y absorción de los materiales de la cubierta.

Cuadro 1. Valores promedio de la radiación y temperatura al interior de invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamientos	RT ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	RFA ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Temperatura inferior ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura superior ($^{\circ}\text{C}$)
Convencional	386.73 a [†]	654.46 a	29.42 a	32.07 a
CIQA-01	316.23 b	471.86 b	27.91 b	30.05 b
CIQA-02	383.35 a	620.69 a	28.92 ab	29.55 b
C.V. (%)	15.98	15.97	10.04	9.78
	**	**	*	**

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). Proviene de 45 días y de 9:00 a.m. a 19:00 p.m.

C.V.: Coeficiente de variación.

*, **: Diferencias significativas y altamente significativas, respectivamente.

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, y la comparación de medias, similar a la RT. En relación con la RFA exterior ($1107.22 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (Cuadro A1), hubo reducciones de 41,

44 y 58% de transmitancia para los PE testigo, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente. Ryu *et al.* (1999) y Cerny *et al.* (1999) citan reducciones de 25-35%, pero no especifican las características del polietileno.

La Figura 1 muestra la respuesta de los polietilenos a la RFA durante el día. Ésta fue superior entre las 12:00 y 15:00 hr; además, conforme fluctúa la RFA del exterior, también se manifiesta en las películas, mostrándose en orden decreciente de PE, el convencional, CIQA-02 y CIQA-01.

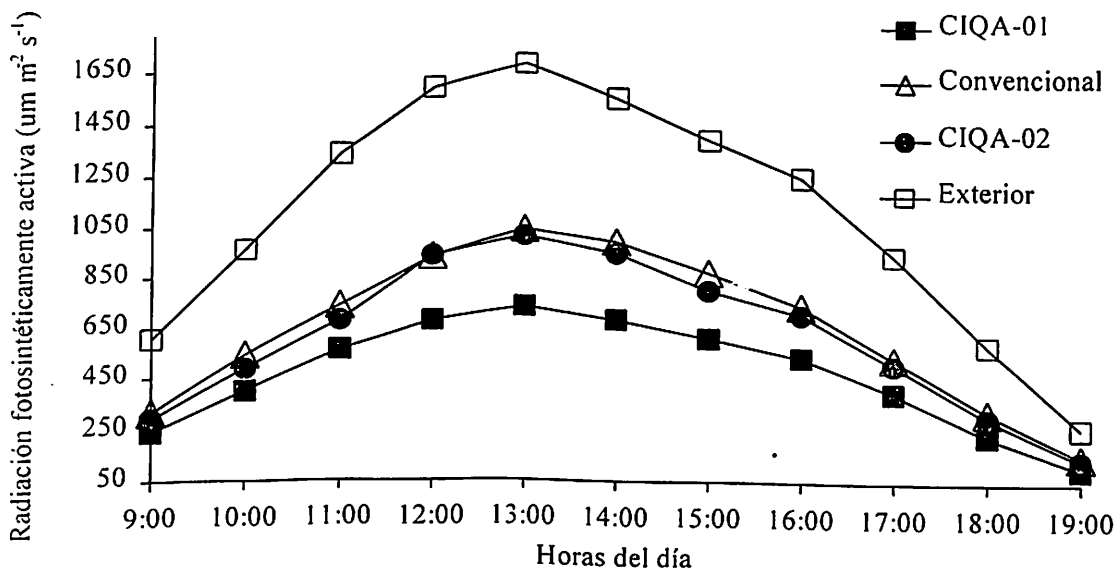


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa registrada en el exterior y la transmitida a interior del invernadero por diferentes películas de polietileno.

Cabe mencionar que en mediciones de fotosíntesis realizadas de 9:00 a 17:00 hr, el gráfico fue similar al que se presenta; es decir, conforme aumentó la radiación, también lo hizo la fotosíntesis, y viceversa. El punto máximo se obtuvo a las 14:00 p.m. (datos no mostrados). Al respecto, Moens (1991) señala que el nivel de fotosíntesis se incrementa conforme lo hace la intensidad de RFA y varía de un cultivo a otro. En estos resultados se obtuvo una disminución drástica en el PE CIQA-01 ($471.86 \mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

No obstante, Mc Avoy y Janes (1990), en plántulas de tomate, refieren a $300 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ como alta y $150 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ como baja. Esto permite inferir que la cantidad de aditivo de los polietilenos puede aumentarse sin afectar la RFA que modifique de forma importante la morfología y anatomía de las plántulas, que luego influya en su capacidad fotosintética.

Por otra parte, para el período de 13:00-16:00 hr (Cuadro A4), respecto a la radiación total exterior ($786.03 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), en el interior del invernadero hubo reducciones de 31, 32 y 45% para el PE testigo, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente; en cambio, en referencia a la RFA exterior ($1471.10 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), ésta se disminuyó en 38, 41 y 56.5%, en el mismo orden de películas.

El análisis de varianza para la temperatura inferior mostró diferencias significativas entre tratamientos. El PE testigo, con una diferencia de $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ más, fue estadísticamente igual a CIQA-02 (Tukey, $p \leq 0.05$) y diferente a CIQA-01 con $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ más (Cuadro 1). No obstante, los datos generales (Cuadro A5) muestran diferencias de temperatura en $3\text{-}5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ más en las película testigo. Respecto a la temperatura exterior ($25.73 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la diferencia fue de 3.7 , 3.2 y $2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para el PE convencional, CIQA-02 y CIQA-01, en ese orden.

La temperatura superior presentó diferencias altamente significativas, siendo estadísticamente iguales los polietilenos CIQA-01 y CIQA-02 con 2 y $2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ menos en relación con el convencional; aunque los datos (Cuadro A5) muestran reducciones de 4 a $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Respecto a la temperatura exterior ($25.09 \text{ }^{\circ}\text{C}$), se registraron 7 , 5 y $4.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ más dentro del invernadero, para los PE convencional, CIQA-01 y CIQA-02, respectivamente.

Para el período de 13:00 a 16:00 hr (Cuadro A4), en relación con el testigo, la temperatura promedio inferior fue de 1.5 y 1.85 °C menos en los PE CIQA-02 y CIQA-01, en ese orden. En cambio, respecto a la temperatura exterior (27.76 °C) las diferencias fueron de 4.8, 3.3 y 2.9 °C más al interior, en la misma secuencia de polietilenos. En la temperatura superior, respecto al testigo, hubo 2.5 y 3.8 °C menos en los PE CIQA-01 y CIQA-02. La temperatura exterior (26.89 °C) fue diferente en 9, 6.4 y 5 °C más al interior del invernadero con la misma tendencia de los PE.

La Figura 2 muestra que la temperatura del PE CIQA-01 y el convencional, en relación con la exterior tienen el mismo el comportamiento, incluso en las fluctuaciones. Sin embargo, el PE CIQA-02 entre las 9:00 y 12:00 hr registró temperaturas más altas, luego disminuyen gradualmente hasta las 18:00 hr. Después no bajan drásticamente como en los otros polietilenos. Esto permite inferir que es una película con ciertas características térmicas, que calienta más temprano el invernadero y en las horas de máxima radiación disminuye la temperatura. En la noche, de las 10:00 p.m. a las 7:00 a.m., la temperatura fue ligeramente superior al testigo (Figura A1).

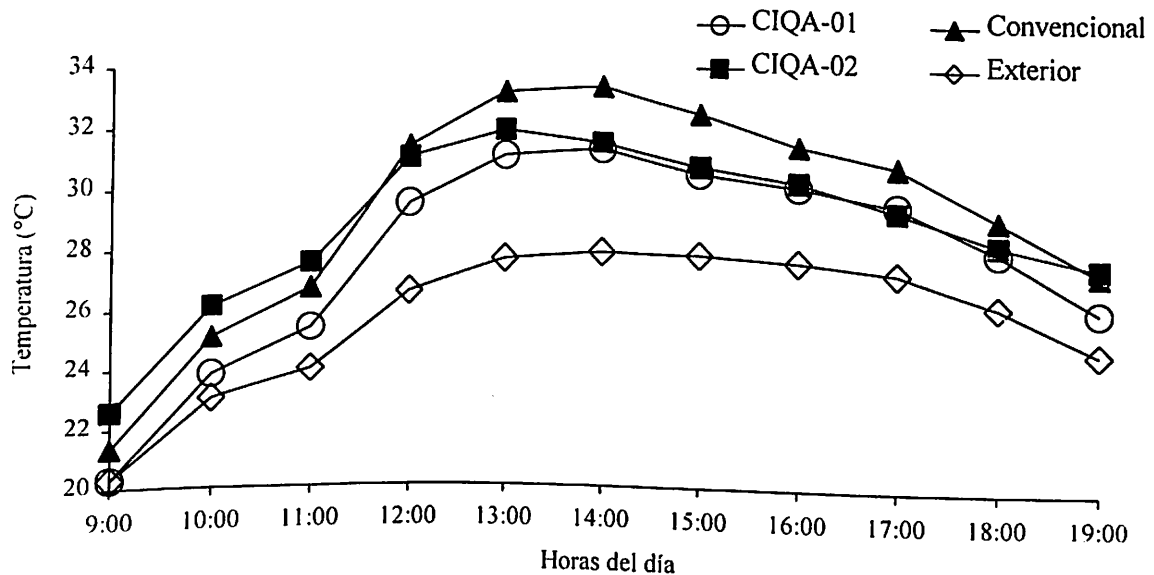


Figura 2. Temperatura al nivel de la plántula, registrada en el exterior e interior de los invernaderos con diferentes películas de polietileno.

En general, los cambios de temperatura que provocan los polietilenos del CIQA aparentemente son bajos; sin embargo, pueden alterar de manera importante el crecimiento de las plántulas. En estos resultados, las temperaturas son ligeramente más altas que las recomendadas, ya que se reportan 25-27 °C para crecimiento vegetativo y 20-22 °C para materia seca total y área foliar óptima para plántulas de Chile (Wien, 1997b). En la misma especie, Choe *et al.* (1988) obtuvo un mayor peso seco y área foliar a 28 °C, pero mayor tasa fotosintética a 23 °C. En tomate se reportan 18-26°C para el crecimiento óptimo en la etapa de plántula.

En relación con otros métodos, la reducción de temperatura lograda con estas películas se puede considerar relevante, ya que Matallana y Montero (1995) en el cultivo de tomate citan reducciones de temperatura de 2-3 °C con el encalado; de 1 °C con la aplicación de un velo de agua a la cubierta y de 3.5 °C, pero al agua se añadió un colorante. En Chile, Jovicich (1999), con mallas de sombreo color negro (30%), redujo la temperatura máxima del aire en 4 °C. La pantalla evaporadora puede reducir hasta 23 °C; pero requiere estructuras especiales y es de mayor costo, por lo que sólo se ha recomendado para ornamentales. El uso de nebulización fina disminuye la temperatura en 10-15 °C respecto a la exterior; pero no para regiones con alta humedad relativa (Alpi y Tognoni, 1991; Tognoni, 2000a).

Por otra parte, las modificaciones que originan los polietilenos sobre la irradiación, marcan cierta importancia sobre la tasa de asimilación de CO₂ (Cuadro 2). Para tomate hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), y en la comparación de medias (Tukey $p \leq 0.01$), el PE convencional y CIQA-02 fueron estadísticamente iguales y CIQA-01 diferente. En Chile, la tendencia numérica es similar a tomate, pero no hubo significancia entre tratamientos ni de medias. Se muestra una relación consistente con

las variables de radiación y temperatura, y se coincide que en tomate la asimilación de CO_2 es mayor que en chile.

En relación con el testigo, el tomate mostró una reducción de fotosíntesis en 24 y 38%; y en chile, de 29 y 33% para el PE CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente. El ambiente de radiación modifica la estructura foliar (estomas, grado y forma de espacios aéreos), limita la asimilación fotosintética y altera el contenido y distribución de pigmentos. En conjunto determinan la eficiencia en la captura de luz por la hoja e influyen la fotosíntesis (Lee *et al.*, 2000). En este caso varió acorde con la RFA que proporcionan las películas.

Cuadro 2. Valores promedio de variables fisiológicas en plántulas de tomate y chile en invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamientos	Tomate		Chile	
	Fotosíntesis ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)	Fotosíntesis ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)
Convencional	28.84 a [†]	0.3424 a	26.06 a	0.3186 a
CIQA-01	17.76 b	0.5879 a	17.42 a	0.3554 a
CIQA-02	21.93 a	0.5320 a	18.50 a	0.5123 a
C.V. (%)	18.13	30.72	42.32	41.86
	**	NS	NS	NS

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

** , NS: Diferencias altamente significativas y no significativas, respectivamente.

La asimilación global de CO_2 , obtenida del producto del área foliar por la fotosíntesis, en tomate mostró una relación consistente en los promedios de asimilación para todos los muestreos, sobresaliendo en orden decreciente: testigo, CIQA-02 y CIQA-01. En chile, la tendencia fue similar para el PE convencional, no así para las otras

películas; aunque en los dos últimos muestreos se coincidió con la respuesta de asimilación de las plántulas de tomate (Cuadro A6).

Respecto a la resistencia estomática (RE) no hubo diferencias significativas entre tratamientos, ni en la comparación de medias en ambas especies. Sin embargo, en tomate el PE CIQA-01 numéricamente presentó la mayor resistencia ($0.5879 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$), seguido por PE CIQA-02 (0.5320) y finalmente el PE testigo. En Chile, los polietilenos en evaluación también registraron valores altos; aunque en el orden de PE CIQA-02, CIQA-01 y testigo (Cuadro 2).

La RE no indicó una relación consistente con los polietilenos, con la radiación, temperatura ni con fotosíntesis, como la mostrada hasta ahora por estas variables. Benavides (1998) en polietilenos con aditivos fotocromáticos registró promedios de RE mayores que en el polipropileno y no hubo una correlación significativa con las variables de radiación ni con la asimilación de CO_2 en las plantas. Existe el supuesto de que debería haber una fuerte correlación, ya que la actividad estomática se encuentra supeditada a la actividad de asimilación de CO_2 , en el sentido de maximizar el uso eficiente del agua por unidad de carbono asimilado. Sin embargo, se ha demostrado que la actividad estomática puede ocurrir de manera independiente, tanto de la actividad de asimilación de CO_2 en el mesófilo como de su concentración interna en la cavidad subestomática (Zeiger y Field, 1982).

Concerniente a las variables agronómicas de las plántulas de tomate: la altura, diámetro del tallo, área foliar y peso seco total, en la fecha inicial de muestreo no mostraron significancia en los tratamientos; ni en la comparación de medias (Cuadro 3). Tampoco hubo una relación entre películas, esto quizás se debe a que en fases iniciales se requiere de una aclimatación fotosintética y a la irradiación. Las plántulas aún están

en fase de sensibilidad o capacidad para percibir la luz ambiental, capturarla eficientemente y adaptar su funcionamiento a las fluctuaciones, con alteraciones fotomorfogénicas (aparición de hojas, tallos, raíz) (Decoteau y Friend, 1991a). Los cambios para todas las variables hasta la segunda evaluación, son mínimos; pero hay diferencias significativas entre tratamientos y en la comparación de medias, excepto en el área foliar.

Cuadro 3. Comportamiento promedio de variables agronómicas en muestreos de plántulas de tomate en invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamiento	Variable	Fechas de muestreo			
		10/abr./00	17/abr./00	24/abr./00	01/may./00
Convencional	Altura (cm)	2.26 a [†]	3.25 a	10.59 a	22.74 a
CIQA-01		2.34 a	3.17 ab	10.45 a	21.75 ab
CIQA-02		2.37 a	3.08 b	9.15 b	20.03 b
C.V. (%)		2.90	2.48	5.93	4.61
		NS	*	*	*
Convencional	Diámetro del tallo (mm)	1.55 a	2.06 a	3.08 a	3.62 a
CIQA-01		1.50 a	1.83 b	2.74 b	3.67 a
CIQA-02		1.52 a	1.95 ab	2.93 ab	3.65 a
C.V. (%)		4.50	4.33	4.56	3.53
		NS	*	*	NS
Convencional	Área foliar (cm ² planta ⁻¹)	3.05 a	9.67 a	33.34 ab	59.61 c
CIQA-01		2.85 a	9.51 a	36.82 a	85.13 a
CIQA-02		3.65 a	9.14 a	31.03 b	71.56 b
C.V. (%)		15.31	9.89	8.13	7.48
		NS	**	*	**
Convencional	Peso seco total (mg planta ⁻¹)	43.62 a	99.82 a	269.37 a	605.52 a
CIQA-01		42.43 a	86.21 b	244.14 ab	615.71 a
CIQA-02		41.72 a	90.35 ab	232.83 b	642.03 a
C.V. (%)		8.93	5.43	6.52	6.98
		NS	*	*	NS

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$).

*, **, NS: Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

Los resultados del tercer muestreo indican que la productividad de las plantas, en el período del 17 al 24 de abril, fue tres a cuatro veces mayor que en el período anterior y con diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables. Los promedios son sólo numéricamente mayores para el PE convencional, pero CIQA-01 sobresale en el área foliar.

La mayor respuesta se atribuye a una radiación y temperaturas más altas en la semana precedente al muestreo. Datos promedio, de 9:00 a 19:00 hr de esa semana, muestran una RFA de 627.5, 610.4 y 472.0 $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y temperaturas de 31, 30 y 29 °C en el PE convencional, CIQA-02 y CIQA-01, respectivamente; en comparación con datos que preceden al segundo muestreo con 597.8, 523.5 y 425.9 $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de RFA y 29, 28 y 26 °C de temperatura, en el mismo orden de polietilenos.

En ese sentido, la radiación electromagnética actúa como un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de las plántulas, ya que variaciones en la tasa de fluencia y distribución espectral (cantidad, calidad y duración) dan lugar a cambios bioquímicos en los sistemas de captura de radiación, así como en la composición química de los tejidos y en los esquemas de desarrollo de la planta que finalmente alteran la partición de biomasa al tejido foliar (Geiger y Servaites, 1994; Lee *et al.*, 2000; Tognoni, 2000b). Shaheen *et al.* (1995), en plántulas de chile y tomate, evaluaron diferentes intensidades luminosas e indican que conforme éstas disminuyen, también lo hace la tasa de asimilación neta, el contenido de clorofila y el peso fresco y seco.

Por otro lado, una diferencia de pocos grados en la temperatura da lugar a cambios significativos en la tasa de crecimiento. Al respecto, Choe *et al.* (1988) señalan que el peso seco y el área foliar son mayores a 28°C, de aquí que quizás el PE CIQA-01 con

promedios de 29 y 27.5 °C en las dos últimas semanas también hayan mostrado mayor área foliar e incluso con diferencias altamente significativas entre tratamientos, donde los promedios (Tukey $p \leq 0.05$), fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 3).

En el último muestreo (edad de trasplante) es relevante que el testigo registre el menor valor en el peso seco total, en relación con CIQA-02 y CIQA-01. Aunque aquél haya registrado una tasa fotosintética mayor, no necesariamente ésta se reflejó en la acumulación de materia seca; en cambio una planta con mayor área foliar y menor fotosíntesis fue más eficiente. También, al final los polietilenos CIQA 01 y 02 registraron una menor altura, un tallo más grueso y más área foliar, lo que se tradujo en plántulas más vigorosas y compactas o de mayor calidad.

En el cultivo de chile, en el segundo muestreo, hubo un comportamiento en productividad de las plántulas muy similar al de tomate, con dos a cuatro veces más la expresión en los parámetros de evaluación, lo cual también se atribuyó a la mayor radiación y temperatura en la semana precedente (Cuadro 4).

Para esa medición las diferencias son altamente significativas ($p \leq 0.05$) para diámetro del tallo y significativas en peso seco total, en el orden de promedios, los PE convencional, CIQA-02 y CIQA-01; en cambio, para la altura y área foliar numéricamente sobresale el PE CIQA-01, el testigo y al final CIQA-02 sin significancia. En las siguientes evaluaciones los aumentos fueron graduales y mínimos para cada semana.

A pesar de que no hubo consistencia entre variables, se observa en el área foliar la tendencia de los PE CIQA-01, CIQA-02 y el convencional; en el peso seco, los PE CIQA-02, testigo y CIQA-01. En general, en la etapa de trasplante (dos últimos muestreos) no hubo diferencias significativas entre tratamientos ni en la comparación de

medias (Tukey $p \leq 0.05$), siendo estadísticamente iguales los promedios, excepto para diámetro de tallo. En la última etapa, una menor altura y un mayor diámetro del tallo es ventaja de los PE CIQA, ya que hay más vigor y resistencia de las plántulas. También, hubo mayor tasa de fotosíntesis en el PE convencional, pero la acumulación de materia seca fue mayor en el PE CIQA-02.

Cuadro 4. Comportamiento promedio de variables agronómicas de plántulas de chile en invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamientos	Variables	Fechas de muestreo				
		17/abr/00	24/abr/00	01/may/00	8/may/00	15/may/00
Convencional	Altura (cm)	2.37 b [†]	5.90 a	9.89 ab	13.73 a	18.17 a
CIQA-01		2.77 a	7.29 a	10.21 a	14.41 a	17.62 a
CIQA-02		2.27 b	4.25 a	9.14 b	13.53 a	17.97 a
C.V. (%)		3.93	30.01	5.27	5.12	3.03
		**	NS	*	NS	NS
Convencional	Diámetro del tallo (mm)	1.51 a	2.35 a	2.95 a	3.22 a	3.52 b
CIQA-01		1.52 a	2.01 b	2.79 a	3.15 a	3.76 a
CIQA-02		1.56 a	2.27 a	2.95 a	3.32 a	3.60 ab
C.V. (%)		4.58	5.29	3.06	3.13	3.14
		NS	**	NS	NS	*
Convencional	Área foliar (cm ² . planta ⁻¹)	3.98 b	17.34 a	30.90 b	43.82 a	64.53 a
CIQA-01		4.63 a	18.83 a	37.55 a	49.72 a	74.96 a
CIQA-02		3.48 c	16.49 a	33.45 a	48.50 a	72.11 a
C.V. (%)		6.24	7.85	6.68	7.08	9.53
		**	NS	**	NS	NS
Convencional	Peso seco total (mg.planta ⁻¹)	43.61 a	136.72 a	281.37 a	388.64 a	584.20 a
CIQA-01		42.43 a	108.63 b	230.73 b	362.21 a	535.32 a
CIQA-02		41.62 a	114.25 ab	285.52 a	409.07 a	612.61 a
C.V. (%)		8.93	9.87	4.41	6.78	10.38
		NS	*	**	NS	NS

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

*, **, NS: Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente.

Un análisis comparativo sobre los parámetros de evaluación entre especies, indicó que hay diferencias entre 50-60% menos en chile que en tomate, excepto en el diámetro del tallo con sólo 8%. La más baja velocidad de crecimiento en chile se debe a la reducida producción de área foliar y a las hojas más delgadas. El pimiento es una planta muy exigente a luminosidad en los primeros estados de desarrollo, lo cual se manifestó con el PE convencional en las primeras dos evaluaciones con el peso seco aéreo, peso seco de la raíz (Cuadro A7 y A8) y el peso seco total; además, tiene menor capacidad fotosintética, de aquí que requiera alcanzar un equilibrio entre la parte aérea y radical y el mayor índice de área foliar. En los resultados se encontró mayor área foliar con los PE CIQA-01 y CIQA-02 en las siguientes mediciones, que es cuando se requiere menor intensidad lumínica.

CONCLUSIONES

Las películas “termorreguladoras” CIQA-02 y CIQA-01 modificaron la cantidad de radiación incidente en el interior de los invernaderos, mostrando una transmisión a la radiación fotosintéticamente activa de 56 y 42%, respectivamente; en cambio en el testigo fue de 59%. La temperatura diaria promedio en el dosel de las plántulas fue menor en 0.5 y 1.5 °C para la película CIQA-02 y CIQA-01, frente al testigo. En cuanto a las horas de máxima irradiación las diferencias promedio fueron mayores, mostrando una disminución de 1.5 y 1.85 °C, considerando el mismo orden de tratamientos. Los cambios en la irradiación ocasionados por las películas se expresaron en diferencias de asimilación de CO₂; con los polietilenos CIQA-02 y CIQA-01 el tomate mostró reducciones de 24 y 38% y el chile de 29 y 33%, respectivamente, en comparación con el testigo. Asimismo, la resistencia estomática fue mayor en las películas “CIQA”, con

una diferencia promedio, para tomate de 0.2175 m s^{-1} y en chile de 0.1152 m s^{-1} , en relación con el testigo. La radiación y temperatura alteraron el crecimiento y desarrollo de las plántulas de chile y tomate, las cuales se manifestaron en la altura, el diámetro del tallo, área foliar y en el peso seco. La mayor asimilación de CO_2 no se reflejó en más acumulación de biomasa o productividad en las variables señaladas.

LITERATURA CITADA

- Alpi, A. y F.Tognoni. 1991. Cultivo en Invernadero. Orientación Científica y Tecnológica. 3ª ed.. Ed. Mundi Prensa. España. 347 p..
- Benavides M., A. 1998. Modificación en los ambientes espectrales de crecimiento y su efecto sobre el comportamiento fisiológico y productividad de *Lactuca sativa* L. y *Spinacia oleracea* L.. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 217 p.
- Cerny, A.T., N.C. Rajapakse and O.Y. Ryu. 1999. Recent development in photosensitive greenhouse covers. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 75-80.
- Cockshull, K.E., C.J. Graves and C.R.K. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 67 (1): 11-24.
- Choe, J.S., W.S. Lee, M. Nagaoka, G. Dakahashi, S.C. Joó and S.L. Woo. 1988. The effect of temperature and light intensity during the nursery stage on *Capsicum annuum* seedling quality. *Rese. Rep. of the Rural Dev. Adm. Hort.* 30 (3): 1-15.
- Decoteau, D.R. and H.H. Friend. 1991. Growth and subsequent yield of tomatoes following end of day light treatment of transplants. *HortSci.* 26 (12): 1528-1530.
- Geiger, D.R. and J.C. Servaites. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C_3 plants. *Ann.. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45: 235-256.
- Jovicich, E., D.J. Cantliffe and G.J. Hochmuth. 1999. Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in North Central Florida. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 184-190.
- Krug, H. 1997. Environmental influences on development, growth and yield. In: The Physiology of Vegetable Crops. Cap. 4. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 101-179.

- Lee, D.W., S.F. Oberbauer, P. Johnson, B. Krishnapilay, M. Mansor, H. Mohamad and S.K. Yap. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *Amer. J. of Bot.* 87(4): 447-455.
- Matallana G., A. y J.I. Montero C. 1995. *Invernaderos: Diseño, Construcción y Climatización*. 2^a ed.. Ed. Ediciones Mundi Prensa. México. 209 p..
- McAvoy, R.J. and H.W. Janes. 1990. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(1): 119-122.
- Moens, F.. 1991. The use of surface active additives as anti-fog agents in agricultural films. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* Mobile, Alabama. Sep. 29- Oct. 3, 1991. pp. 188-195.
- Orzolek, M.D. and W.S. Lamont. 1999. The Penn State Center for Plasticulture. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress Amer. Soc. for Plast.* May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.
- Ryu, O.Y., M.O. Kohgo, M. Iwata, S. Ikado. 1999. Practical approach for photosensitive plastics. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. p. 80.
- Shaheen, A.M., R.M. Helal, N.M. Omar and A. Mahmoud. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. *Egyptian J. Hort.* 22 (2): 175-192.
- Smith, H.. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 289-315.
- Tognoni, F.. 2000a. Temperatura. In: *Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas*. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México.. pp. 12-27.
- Tognoni, F.. 2000b. Radiación. In: *Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas*. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp. 38-43.
- Wien, H.C.. 1997. Transplanting. In: *The Physiology of Vegetable Crops*. Cap. 2. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 37-69.
- Zeiger, E.; C. Field. 1982. Photocontrol of the functional coupling between photosynthesis and stomatal conductance in the intact leaf. *Plant Physiol.* 70: 370-375.

CONCLUSIONES

Las películas “termorreguladoras” CIQA-02 y CIQA-01 modificaron la cantidad de radiación incidente en el interior de los invernaderos, mostrando una transmisión a la radiación fotosintéticamente activa de 56 y 42 por ciento, respectivamente; en cambio en el testigo fue de 59 por ciento.

La temperatura diaria promedio en el dosel de las plántulas fue menor en 0.5 y 1.5 °C para la película CIQA-02 y CIQA-01, frente al testigo. En cuanto a las horas de máxima irradiación las diferencias promedio fueron mayores, mostrando una disminución de 1.5 y 1.85 °C, considerando el mismo orden de tratamientos.

Los cambios en la irradiación ocasionados por las películas se expresaron en diferencias de asimilación de CO₂; con los polietilenos CIQA-02 y CIQA-01 el tomate mostró reducciones de 24 y 38 por ciento y el chile de 29 y 33 por ciento, respectivamente, en comparación con el testigo. Asimismo, la resistencia estomática fue mayor en las películas “CIQA”, con una diferencia promedio, para tomate de 0.2175 m s⁻¹ y en chile de 0.1152 m s⁻¹, en relación con el testigo.

La radiación y temperatura alteraron el crecimiento y desarrollo de las plántulas de chile y tomate, las cuales se manifestaron en la altura, el diámetro del tallo, área foliar y en el peso seco. La mayor asimilación de CO₂ no se reflejó en más acumulación de biomasa o productividad en las variables señaladas.

LITERATURA CITADA

- Abak, K., A. Bascetincelik, N. Baytorun, O. Altuntas and H.H. Ozturk. 1994. Influence of double cover and thermal screens on greenhouse temperature, yield and quality of tomato. *Acta Hort.* 366: 149-154.
- Abdul-Baky, A.. 1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germoplasm to heat stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 1113-1116.
- Akira, N., J. Chory and M. Furuya. 1993. Phytochrome B is not detectable in the *hy3* mutant of *arabidopsis*, which is deficient in responding to end of day far red light treatments. *Plant Cell Physiol.* 32(7): 1119-1122.
- Alisedo, M.A. 1999. Chile y tomate. *Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica.* Agosto. pp. 14-15.
- Alpi, A. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en Invernadero. *Orientación Científica y Tecnológica.* 3ª ed.. Ed. Mundi Prensa. España. 347 p..
- Angus, R., R. Morrison. 1998. Review of wavelength selective films for plant growth and enhancement. *Landwards.* 53 (2): 19-22.
- Antignus, Y., S. Cohen, N. Mor, Y. Masika and M. Lapidot. 1996. The effects of uv-blocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases. *Plast.* 112: 15-20.
- Antonio, F.M., A.M. Silva and R. Rui. 1994. Solar irradiation inside a single-span greenhouse with shading screens. *J. Agric. Engng Res.* 59: 61-72.
- Armengol, E. y J. Badiola. 1996. Novedades en los plásticos para invernaderos. *Horticultura. Revista de hortalizas, flores, plantas ornamentales y viveros.* XV (5): 13-19.
- Ballaré, L.C., A.L. Scopel and R.A. Sánchez. 1990. Far-red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. *Sci.* 247: 329-332.
- _____, _____, _____. 1991. Photocontrol of stem elongation in plant neighborhoods: effects of photon fluence rate under natural conditions of radiation. *Plant, Cell and Env.* 14 (1): 57-65.
- _____, _____, _____. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. *HortSci.* 30 (6): 1172- 1181.

- _____, _____, M. Roush and S.R. Radosevich. 1995. How plants find light in patchy canopies. A comparison between wild-type and phytochrome-B-deficient mutant plants of cucumber. *Functional-Ecol.* 9(6): 859-868.
- Benavides, M. A. 1998. Modificación en los ambientes espectrales de crecimiento y su efecto sobre el comportamiento fisiológico y productividad de *Lactuca sativa* L. y *Spinacia oleracea* L. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 217 p.
- _____, R. Maiti K., G. Terán E.. 1993. El balance espectral de la radiación y la fotomorfogénesis y productividad de los vegetales. Monografía técnica. Centro de Investigación en Química Aplicada. 46 p..
- Benoit, F. and N. Ceustermans. 1992. Ecological vegetable with plastics. *Rev. Plast.* No. 95. Belgique.
- _____, and _____. 1997. Tomato. Summer culture in plastic tunnels. *Proeftuinnieuws*. 7 (8): 17-18.
- Berninger, E.. 1994. Development rate of young greenhouse rose plants (*Rosa hybrida*) rooted from cuttings in relation to temperature and irradiance. *Sci. Hort.* 58: 135-251.
- Bertran, L. and P. Karlsen. 1994. Patterns in stem elongation rate in chrysanthemum and tomato plants in relation to irradiance and day/night temperature. *Sci. Hort.* 58: 139-150.
- Black, L.A..1992. Is there any lighth in your future?. *Grower talks*. 55(12): 71.
- Brent, J.L., O.S. Wells and M.G. Karakoudas. 1999. Three years of result with red mulched tomatoes in New Hampshire. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* May 19-22. 1999. Tallahassee, Florida. p. 60.
- Bretones, C.F.. 1995. Producción hortícola bajo invernadero: tomate, pimiento y pepino. In: *Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos*. 5-7 de octubre de 1995. León, Guanajuato, México. pp. 10-23.
- Bringas, L.. 1998. Tiempos de invernadero. *Rev. Productores de Hortalizas*. Publicación periódica. Agosto. pp. 32-35.
- Brown, J.E., W.D. Goff, W. Hogue, M.S. West, C. Stevens, V.A. Khan, B.C. Early and L.S. Brasher. 1991. Effects of plastic mulch color on yield and earliness of tomato. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 21-26.
- Bruggink, G.T. and E. Heuvelink. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growt rate, net assimilation. rate and leaf area ratio. *Sci. Hort.* 31: 161-174.

- Cantliffe, D.J.. 1993. Pre-and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. HortTech.. 3(4): 415-417.
- Carr-Smith, H.D., C.B. Johnson, C. Plumton, G.W. Butcher and B. Thomas. 1994. The kinetics of type 1 phytochrome in green, light-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta. 194: 136-142.
- Castañón, C.M.. 1993. Horticultura: Manejo Simplificado. Universidad Autónoma de Chapingo. Dirección General del Patronato Universitario. Chapingo, México. 527 p..
- Celis, H.J.E. and H.E. Hetz. 1992. Uso de la energía en la producción de tomates bajo invernaderos plásticos y al aire libre. Agrociencia. 8 (1): 41-46.
- Cerne, M., T. Sluga and Kozelj J.. 1994. Different kinds of plastics used for protection against insects and cold. In: 13th International Congress on Plastics in Agriculture [Congresso Internazionale del C.I.P.A.]. Proceedings of a conference held in Verona, Italy. 8-11 March, 1994. Volume 1.
- Cerny, A.T., N.C. Rajapakse and O.Y. Ryu. 1999. Recent development in photoselective greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plastics. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.
- Cockshull, K.E., C.J. Graves and C.R.K. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. J. Hort. Sci..67 (1): 11-24.
- Coffey, D.L., M.J. Buschermohle, J.B. Willir, R.T. Burns, R.E. Yoder and G.S. Honea. 1999. Soil temperature and moisture conditions and performance of tomatoes grow on colored plastic mulches. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 54-59.
- Charles, W.B., R.E. Harris. 1972. Tomato fruit set at high and low temperature. Can. J. Plant Sci.. 52: 497-506.
- Chi, S.H., K.B. Ann and J.I. Chang. 1998. Effect of the lighting cycle on the growth of tomato and hot pepper seedlings. Journal of the Korean Society for Hort. Sci.. 39 (3): 233-237.
- Choe, J.S., W.S. Lee, M. Nagaoka and G. Dakahashi. 1988. The effect of temperature and light intensity during the nursery stage on *Capsicum annuum* seedling quality. Rese. Rep. of the Rural Dev. Adm. Hort.. 30 (3): 1-15.
- _____, Y.C. Um, K.H. Kang and W.S. Lee. 1994. The effects of night temperature and duration of the nursery period on the quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. J. of the Korean Soc. for Hort. Sci.. 35 (1): 1-11.
- Chory, J., M. Chatterjee, R.K. Cook, T. Elich, C. Fankhauser, J. Li, P. Nagpal, M. Neff, A. Pepper, D. Poole, J. Reed and V. Vitart. 1996. From seed germination to

flowering, light controls plant development via the pigment phytochrome. Proc. of the National Academy of Sciences of the USA. 93(22): 12066-12071.

Chung, S.J., B.R. Oh and B.S. Seo. 1991. A study of leaf structure and growth potential as affected by blue colour removing (BCR) film in protected cultivation of red pepper seedlings. J. of the Korean Soc. for Hort. Sci.. 2 (3): 286-291.

Dansereau, B., Y. Zhang, S. Gagnon and H.L. Xu. 1998. Stock and snapdragon as influenced by greenhouse covering materials and supplemental light. HortSci. 33(4): 668-671.

De Santiago, J.. 1998. Futuro de los plásticos de cubierta. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Agosto. pp. 38-42.

_____, A. Randolph. 1996. Agricultura protegida. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Octubre. pp. 12-14.

Decoteau, D.R. and H.H. Friend. 1990. Seasonal mulch color transition. Proc. 22nd Natl. Agr. Plast. Congr.. pp. 13-18.

_____, and _____. 1991a. Growth and subsequent yield of tomatoes following end of day light treatment of transplants. HortSci.. 26 (12): 1528-1530.

_____ and _____. 1991b. Phytochrome - regulated growth of young watermelon plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci.. 116: 512-515.

_____ and _____. 1991c. Plant responses to wavelength selective mulches and row covers: A discussion of light effects on plants. Proc. Nat. Agr. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Mobile, Alabama. Sep. 29-Oct.3, 1991. pp: 46-51.

Díaz, P.J.C.. 1995. El calor acumulado en su reloj de tiempo. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Octubre. pp. 17-21.

Dieleman, J.A and E. Heuvelink. 1992. Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in tomato. J. Hort. Sci.. 67 (1): 1-10.

Dufault, R.J. and R.R. Melton. 1990. Cyclic cold stresses, fresh market, yield, or quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 559-563.

Dumas, Y.. 1990. Interrelation of linear measurements and total leaf area or dry matter production in young tomato plants. Advances in Horticultural Science. 4 (3): 172-176.

Espi, E., A. Salmerón, C. Tamayo, M. Ortiz L. y F. Laborda. 1997. Filmes Fotoselectivos Anti plagas para Cubierta de Invernadero. Repsol, S.A.. Dirección General de Tecnología. Embajadores 193. Madrid, España. s/p.

- Fernández, J.E. and B.J. Bailey. 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *J. Agric. Engng Res.* 58: 201-210.
- Flores, V.J.. 1996. Caracterización agronómica de películas fotoselectivas para acolchado en el cultivo de chile Anaheim con fertirrigación. Tesis de Maestría en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo, Coah.. 107 p..
- Friend, H.H. and D.R. Decoteau. 1990. Transmission properties of selected row cover materials and implications in early plant development. *Proc. Natl. Agr. Plastics Cong.* 22: 1-6.
- _____ and _____. 1995. Regulation of bell pepper seedling growth with end of day supplemental fluorescent light. *HortSci.* 30(3): 487-489.
- Fueyo, M.A. 1997. Producción de lechuga en invernadero. *Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica.* Octubre. pp. 52-53.
- Galston, A.W., P.J. Davies and R.L. Satter. 1980. *The Life of the Green Plant.* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 464 p.
- Gálvez, L.J.. 1999. Producción bajo invernadero. *Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica.* Agosto. pp. 14-21.
- Garnaud, J.C.. 1974. *The Intensification de Horticultural Crop Production in de Mediterranean Basin by Protected Cultivation.* FAO of the united Nations. Rome. 185
- Geiger, D.R. and J.C. Servaites. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C₃ plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45: 235-256.
- Geoola, F., U.M. Peiper and F. Geoola. 1994. Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse. *J. Agric. Engng Res.* 57: 167-172.
- Gómez, B. J.G. 1998. Insumos de calidad: plántulas de calidad. *Rev. Hortalizas, Frutas y Flores. Publicación periódica.* Abril 1998. pp. 22-24.
- Guttormsen, G.. 1990. Effect of various types of floating plastic films on the temperatures and vegetable yield. *Acta Hort.* 267: 37-44.
- Guzmán, P.M. y A. Sánchez. 2000. Sistema de explotación y tecnología de producción. In: *Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas.* Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto. Guadalajara, Jal., México. pp. 64-94.
- Guzmán, P.M.. 2000. Respuesta fisiológica y control ambiental. In: *Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción*

- Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto. Guadalajara, Jal., México. pp. 44-63.
- Halliday, K.J., M. Koornneef, G.C. Whitlam. 1994. Phytochrome B and at least one other phytochrome mediate the accelerated flowering response of *Arabidopsis thaliana* L. to low red/far-red ratio. *Plant physiol.* 104: 1311-1315.
- Ham, J.M., G.J. Kluitenberg and W.J. Lamont. 1991. Potential impact of plastic mulches on the above ground plant environment. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 63-69.
- Heuvelink, E.. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae.* 61: 77-99.
- Heydecker, W. and P. Coolbear. 1977. Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. *Seed Sci. Technol.* 5: 353-425.
- Hochmuth, J.G. and B.C. Hochmuth. 1991. Current status and trends of the greenhouse vegetable industry in Florida. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plastics. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 88-91.
- Jaffrin, A. and S. Makhlouf. 1990. Mechanism of light transmission thorough wet polymer films. *Acta Hort.* 281: 11-24.
- Jong, T., N.J. Van De Braak and G.P.A. Bot.. 1993. A wet plate heat exchanger for conditioning closed greenhouses. *J. Agric. Engng Res.* 56: 25-37.
- Jovicich, E., D.J. Cantliffe and G.J. Hochmuth. 1999. Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in North Central Florida. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19-22. 1999. Tallahassee, Florida. pp. 184-190.
- Kambalapally, V.R. and N.C. Rajapakse. 1998. Spectral filters affect growth, flowering, and postharvest quality of Easter Lilies. *HortSci.* 33(6): 1028-1029.
- Kinet, J.M.. 1977. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hort.* 6: 15-26.
- Kinet, J.M. and M.M. Peet. 1997. Tomato. In: *The Physiology of Vegetable Crops.* Cap. 4. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 101-179.
- Körner, Ch.. 1991. Some overlooked plant characteristics as determinants of plant growth: a consideration. *Functional-Ecol.* 5: 162: 173.
- Krug, H.. 1997. Environmental influences on development, growth and yield. In: *The Physiology of Vegetable Crops.* Cap. 4. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 101-179.

- Küppers, M. 1994. Canopy gaps: light interception and economic space filling - A matter of whole- plant allocation. In: Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants. Eds. M.M. Caldwell and R.W. Pearcy. Academic, San Diego. pp. 111-144.
- Kwon, J.K., Y.C. Um, D.K. Park, J.H. Lee and K.W. Kang. 1998. Effect of automatic shading during summer season on growth and yield of fruit vegetables in plastic film house. *J. of Hort. Sci.*. 40 (1): 1-7.
- Lagier, J. 1990. Controlling and improving climatic conditions under a large protective plastics cover during hot periods. Effect of the blanching of walls on the microclimatic and agronomic parameters - model plant: tomato. Proc. of the 11th International Congress on the Use of Plastics in Agriculture, New Delhi, India, 26 February - 2 March, 1990.
- Latimer, J.G., and R.B. Beverly. 1993. Mechanical conditioning of greenhouse-grown transplants. *HortTech.*. 3(4): 412-414.
- Lee, D.W., R. Bone, S. Tarsis and P.S. Nobel. 1990. Correlates of leaf optical properties in tropical forest extreme shade and sun plants. *Amer. J. Bot.*. 77: 370-380.
- _____, S.F. Oberbauer, P.Johnson, B. Krishnapilay, M. Mansor, H. Mohamad and S.K. Yap. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast *Asian Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *Amer. J. Bot.*. 87(4): 447-455.
- Leskovar, I.D.. 1998. Root and shoot modification by irrigation. *HortTech.* 8(4): 510-514.
- _____, D.J. Cantliffe and P.J. Stoffella. 1989. Pepper (*Capsicum annuum* L.) root growth and its relation to shoot growth in response to nitrogen. *J. Hort. Sci.*. 64: 711-716.
- _____, _____ and _____. 1990a. Early transplant growth in relation to fruit yield in tomato. *HortSci.*. 25: 140.
- _____, _____ and _____. 1990b. Root growth and root-shoot interaction in transplants and direct seeded pepper plants. *Envir. Exp. Bot.*. 30 (3): 349-354.
- _____, _____. 1993. Comparison of plant establishment method, transplant, or direct-seeding on growth and yield of bell pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*. 118 (1): 17-22.
- _____ and P.J. Stoffella. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortSci.* 30(6): 1153-1159.
- Li, T.L., P. Wang and H. XU. 1997. Effects of night temperature at the seedling stage on the occurrence of malformed tomato fruit. *China Vegetables.* 2: 1-6.

- Liptay, A., S. Nicholls and P. Sikkema. 1992. Optimal mineral nutrition of tomato transplants in the greenhouse for maximum performance in the field. In: International Symposium on Transplant Production Systems- Biological, Engineering and Socioeconomic Aspects. Yokohama, Japan, 21-26 July, 1992. pp. 489-492.
- Loustalot, L. M.E. 1998. Producción de plántulas con alta tecnología en invernadero. *Rev. Hortalizas, Frutas y Flores*. Publicación periódica. Abril de 1998. pp. 16-20.
- Lozano, M.J., M.C. González and E.A. González. 1996. Use of polychromatic polypropylene films for greenhouses in lettuce cultivation. *Rev. Plast.* 111(3): 3-42.
- Lüchow, K. and C. Von Zabeltitz. 1992. Investigation of a spray cooling system in a plastic-film greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.* 52: 1-10.
- Marcelis, L.F.M. 1993. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 2. Effect of irradiance. *Sci. Hort.* 54: 123-130.
- Matallana G., A. y J.I. Montero C. 1995. Invernaderos: Diseño, Construcción y Climatización. 2ª ed.. Ed. Ediciones Mundi Prensa. México. 209 p.
- McAvoy, R.J. and H.W. Janes. 1990. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(1): 119-122.
- _____, _____, B.L. Godfriaux, M. Secks, D. Duchai, W.K. Wittman. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *J. Hort. Sci.* 64 (3): 331-338.
- Miller, W.B. and R.W. Langhans. 1989. Reduced irradiance affects dry weight partitioning in Easter Lily. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(2): 306-309.
- Minero, A.A.. 1998. Producción y manejo de transplantes. II. Sustratos, fertilización y riego. *Rev. Productores de Hortalizas*. Publicación periódica. Agosto de 1998. pp. 14-22.
- Moens, F.. 1991. The use of surface active additives as anti-fog agents in agricultural films. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plastics. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 188-195
- Morand, L.Z., D.G. Kidd and C. Largarías. 1993. Phytochromes levels in the green alga *Mesotaenium caldariorum* are light regulated. *Plant Physiol.* 101: 97-103.
- Morone, F.I., L. Mancini, V. Ovello and N. Prencipe. 1995. Horticultural crops, relationship between transplanting and yield. *Colture Protette*. 24 (10): 67-74.
- Mougou, R.B. and N. Mechlia. 1990. The effect of different types of covering and thermal screens on radiant energy and early tomato production. *Acta Hort.* 263: 275-283.

- Moya, V. and A. Alicia. 1995. Evaluation of different polyethylene on environmental (temperature and light) and agronomic (yield and quality) parameters of early tomato under greenhouse]. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota (Chile). Fac. de Agronomía. Tesis (Ing Agr). Quillota, Chile.. 139 p.
- Murakami, K., H. Cui, M. Kiyota, I. Aiga and A. Kano. 1995. The design of special covering materials for greenhouses to control plant elongation by changing spectral distribution of daylight. *Acta Hort.* 399 : 135-142.
- _____, _____, _____, Y. Takemura, R. Oi and I. Aiga. 1996. Covering materials to control plant growth by modifying the spectral balance of daylight. *Plast.* 110: 2-14.
- Nakazawa, M., Y. Yoshida and K. Manabe. 1991. Differences between the surface properties of the Pr and Pfr forms of native Pea phytochrome, and their application to a simplified procedure for purification of the phytochrome. *Plant Cell Physiol.* 32 (8): 1187-1194
- Navarrete, M., B. Jeannequin and M. Sebillotte. 1997. Vigour of greenhouse tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.): analysis of the criteria used by growers and search for objective criteria. *J. Hort. Sci.* 72 (5): 821-829.
- Nederhoff, E.M.. 1994. Photosynthesis of stand of tomato, cucumber and sweet pepper measures in greenhouse under various CO₂ concentrations. *Rev. Ann. of Bot.* 73(): 353-361.
- Noto, G. and G. Lamalfa. 1986. Flowering of tomato in relation to pre-planting low temperatures. *Acta Hort.* 191: 275-280.
- Novoplansky, A., T. Sachs, D. Cohen, R. Bar, J. Bodenheimer and R. Reisfeld. 1990. Increasing plant productivity by changing the solar spectrum. *Solar Energy Materials.* 21: 17-23.
- Oh, J.Y., D.J. Choi, J.S. Kim, D.M. Park, S.B. Lee, D.U. Choi, D.O. Park and J.H. Lim. 1989. Study of the ecological response to mulch materials in hot pepper. *Rese. Rep. of the Rural Dev. Adm. Hort.* 31 (1): 17-24.
- Ohta, K., T. Osoki and N. Ito. 1994. Studies on yields and fruit qualities in cherry tomato cv. Sun Cherry grown under low temperature and low irradiance conditions. *Bulletin of the Faculty of Agriculture.* 28: 1-4.
- Orzolek, M.D. and W.S. Lamont. 1999. The Penn State Center for Plasticulture. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.
- Palacios, M.. 1995. Telas plásticas en la agricultura. *In: Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos.* 5-7 de octubre, 1995. León, Gto.. México. pp. 72-77.

- Pilati, R.A. y J. C. FAVARO.. 1999. El cultivo del pimiento bajo invernadero. Internet. <http://www.agroguías.com>.
- Quiroga, CH.O.A. 1992. Análisis de senderos para características relacionadas con resistencia a sequía en 12 genotipos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 173 p.
- Rajapakse, N.C. and J.W. Kelly. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 481-485.
- Randolph, A..1999. Alianza de tecnología y servicios. *Rev. Productores de Hortalizas*. Publicación periódica. Agosto de 1999. pp. 22-24.
- Reed, J.W, A. Nagatani, T.D. Elich, M. Fagan and J. Chory. 1994. Phytochrome A and phytochrome B have overlapping but distinct functions in *Arabidopsis* development. *Plant Physiol.* 104: 1139-1149.
- Robledo, De P.F. y L. Vicente M.. 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Ed. Ediciones Mundi Prensa. México. p. 6.
- Rodríguez, J.L.. 1999. Nuevos calibres. *Rev. Productores de Hortalizas*. Publicación periódica. Agosto de 1999. pp. 10-11.
- Rozek, S., W. Ady and J. Yczkowski. 1991. Growing of greenhouse tomato from seedlings at different stages of development at various temperatures of the air and nutrient solution. II. Leaf size and content of photosynthetic pigments. *Folia Hort.* 3 (3): 81-95.
- Rubeiz, I.G. and M.M. Freiwat. 1995. Row cover and black plastic mulch effects on tomato production. *Biol. Agric. and Hort.* 12 (2): 113-118.
- Rui, R.L., Y.Q. Nie, H.Y. Tong, X.T. Shen and Q.T. Zhu. 1989. Protective effect of plastic film coverage on photosynthesis of *Capsicum* in summer. *Jiangsu Agric. Sci.* 8: 30-3.
- Rumpel, J. And K.Grudzien. 1990. Suitability of nonwoven polypropylene for a flat covering in sweet pepper cultivation. *Acta Hort.* 267: 53-58.
- Ryu, O.Y., M.O. Kohgo, M. Iwata and S. Ikado. 1999. Practical approach for photoselective plastics. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* May 19-22. 1999. Tallahassee, Florida. p. 80.
- Sade, A.. 1997. Cultivos bajo condiciones forzados: nociones generales. Rejovor, Israel. pp. 1-14.
- Salinas, N.J.C. and S. Pearson. 1994. Low tunnels combined with mulch: effects of different polyethylene films on the micro environment and yield of tomatoes. *Plast.* 104: 13-21.

- Salisbury, B.F.; C.W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. Biol. Virgilio González Velázquez. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. p. 539.
- Santiago, L., M. Mendoza and F.E. Borrego. 1998. Evaluation of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse conditions: phenological and physiological criteria. *Agronomía Mesoamericana*. 9(1): 59-65.
- Schmidth, J.R. and J.W. Worthington. 1998. Modifying heat unit accumulation with contrasting colors of polyethylene mulch. *HortSci.* 33(2): 210-214.
- Schoch, P.G.. 1972. Effects of shading on structural characteristics of the leaf and yield of fruit in *Capsicum annuum* L.. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 461-464.
- Shaheen, A.M., R.M. Helal, N.M. Omar and A. Mahmoud. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. *Egyptian J. of Hort.* 22 (2): 175-192.
- Sitheswary, L. and H. W. Janes. 1992. Light duration effects on carbon partitioning and tranlocation in tomato. *Sci. Hort.* 52: 19-25.
- Siwek, P.. 1992. The effect of multi-layer covering and mulching on the yield of sweet pepper grown in plastic tunnels. *Folia Hort.* 4 (1): 71-82.
- Smith, H.. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 481-518.
- _____. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 289-315.
- Spitters, C.J.T., H.A.J.M. Toussaint and J. Goudriaan. 1986. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. Part I. Components of incoming radiation. *Agric. and Forest Meteorology*. 38: 231-242.
- Splittstoesser W.E. and J.E. Brown. 1991. Current changes in plasticulture for crop production. In: *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.* Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 241-253.
- Stanghellini, C.W. and Th.M. V. Meurs. 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration. *J. Agric. Engng. Res.* 51: 297-311.
- Sulaika, V.. 1997. Plásticos de cubierta para invernadero. *Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica.* Octubre. pp. 54-56.
- Sullivan, J.H. and A.H. Teramura. 1989. Field study of the interaction between solar ultraviolet-B radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol.* 92: 141-146.

- Tanner, C.B. 1974. Microclimate modification: Basic concepts. *HortSci.* 9 (6): 555-560.
- Teramura, A.H.. 1980. Effects of ultraviolet-B irradiances on soybean. II. Interaction between ultraviolet-B and photosynthetically active radiation on net photosynthesis, dark respiration and transpiration. *Plant Physiol.* 65: 483-488.
- Terzagui, W.B., A.R.Cashmore. 1995. Light regulated transcription. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46: 445-474.
- Thompson, H.F. and M.J. White. 1991. Physiological and molecular studies of light regulated nuclear genes in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 423-466.
- Tognoni, F.. 2000a. Temperatura. *In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas.* Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México.. pp. 12-27.
- _____. 2000b. Necesidades hídricas de la planta. *In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas.* Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp. 28-37.
- _____. 2000c. Radiación. *In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas.* Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal., México. pp. 38-43.
- Tsekleev, G. And S. Stoilov. 1990. Fluorescent film for the cultivation of tomatoes in Bulgaria. *Plast.* 86 (2): 47-51.
- Vallejos, C.E. and R.W. Pearcy. 1987. Differential acclimation potential to low temperature in the species of *Lycopersicon*. *Photosynthesis and growth.* *Can. J. Bot.* 65: 1303-1307.
- Verhaegh, A.P.. 1981. The influence of insulation techniques on crop production and profitability in the Dutch glasshouse industry. *Acta Hort.* 115: 453-465.
- Vierstra, R.D..1993. Illuminating phytochrome functions. There is light at the end of the tunnel. *Plant Physiol.* 103: 679-684.
- Weiss, D.. 1995. Cubiertas de plástico para invernadero como filtro lumínico para controlar el desarrollo vegetativo. *In: Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos.* 5-7 de octubre, 1995. León, Gto.. México. pp. 102-104.

- Wien, H.C. 1997a. Transplanting. In: The Physiology of Vegetable Crops. Cap. 2. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 37-69.
- _____. 1997b. Peppers. In: The Physiology of Vegetable Crops. Cap. 7. Editor H.C. Wien. Editorial CAB International. pp. 259-293.
- Wu, W.S. and C.H.Wu. 1992. Effects of double-layered plastic greenhouse on cultivation of tomatoes. Memoirs of the College of Agriculture. National Taiwan University. 32 (3): 179-193.
- Yüksel, T..1998. ISHS Symposium on Greenhouse Management and Quality in Mild Winter Climates. *Chronica Hort.*. 38 (1): 4.
- Zeiger. E. and C. Field. 1982. Photocontrol of the functional coupling between photosynthesis and stomatal conductance in the intact leaf. *Plant Physiol.* 70:370-375.
- Zhibin, Z.. 1999. Update development of protected cultivation in Mainland, China. *Chronica Hort.*. 39(2): 12-15.

APÉNDICE

Cuadro A1. Promedios de temperatura en dos niveles de altura y radiación, registrados en el exterior.

Hora	T. inferior (°C)	T. superior (°C)	RT	RFA
09:00	20.30	20.00	318.24	608.21
10:00	23.03	22.37	517.44	962.10
11:00	23.99	23.27	720.96	1340.69
12:00	26.53	25.60	853.42	1591.24
13:00	27.60	26.59	901.64	1684.72
14:00	27.86	26.96	830.08	1552.09
15:00	27.84	27.07	743.10	1395.59
16:00	27.64	26.95	669.31	1252.04
17:00	27.31	26.73	510.61	942.48
18:00	26.25	25.91	312.67	586.44
19:00	24.71	24.59	140.09	263.79
Promedio	25.73	25.09	592.51	1107.22

RFA: Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

RT: Radiación total ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

Cuadro A2. Promedios de temperatura en dos niveles de altura al interior de invernaderos con diferentes películas de polietileno como cubierta.

HORA	CIQA-01		CIQA-02		CONVENCIONAL	
	°Tinferior	°Tsuperior	°Tinferior	°Tsuperior	°Tinferior	°Tsuperior
09:00	20.31	21.09	22.59	22.17	21.36	22.82
10:00	23.85	25.79	26.13	26.75	25.09	27.43
11:00	25.39	27.78	27.56	28.43	26.72	29.49
12:00	29.42	32.59	30.93	32.44	31.29	34.82
13:00	30.96	33.90	31.80	33.03	33.05	36.69
14:00	31.22	33.95	31.43	32.50	33.28	36.47
15:00	30.51	32.96	30.73	31.52	32.47	35.54
16:00	30.11	32.51	30.27	30.99	31.43	34.65
17:00	29.53	31.55	29.36	30.01	30.79	33.34
18:00	28.05	29.33	28.31	28.43	29.15	30.94
19:00	26.12	27.08	27.57	27.15	27.36	28.44

Cuadro A3. Promedios de radiación al interior de invernaderos con diferentes películas de polietileno como cubierta.

HORA	CIQA-01		CIQA-02		CONVENCIONAL	
	RT	RFA	RT	RFA	RT	RFA
09:00	164.54	243.37	186.07	293.14	192.93	317.10
10:00	267.44	398.75	303.35	488.25	328.40	543.21
11:00	382.19	565.58	418.33	681.53	437.84	739.59
12:00	452.83	679.76	574.67	939.39	544.53	935.92
13:00	497.01	734.11	623.81	1018.18	619.11	1044.78
14:00	461.17	682.33	582.19	949.19	581.43	994.66
15:00	410.86	611.69	491.75	801.01	517.01	873.13
16:00	353.76	535.68	437.65	705.29	431.54	740.06
17:00	262.37	397.62	311.99	508.14	312.06	531.30
18:00	154.81	235.53	192.91	303.20	192.39	325.11
19:00	71.52	106.02	94.10	140.28	96.77	154.20

RFA: Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

RT: Radiación total ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

Cuadro A4. Comparación de medias de 13-16 hr de la radiación y temperatura al interior de invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamientos	RT ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	RFA ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Temperatura inferior ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura superior ($^{\circ}\text{C}$)
Convencional	537.27 a [†]	913.16 a	32.55 a	35.84 a
CIQA-01	430.70 b	640.95 b	30.70 b	33.32 b
CIQA-02	533.85 a	868.42 a	31.05 ab	32.00 b
C.V. (%)	22.69	22.71	10.50	10.44
	**	**	*	**

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). Proviene de 45 días y de 13-16 p.m.

C.V: Coeficiente de variación.

*, **: Diferencias significativas y altamente significativas, respectivamente.

RT, RFA: Radiación Total, Radiación Fotosintéticamente Activa, respectivamente.

Cuadro A5. Promedios de temperatura en dos niveles y de radiación registrados de 13-16 hr al interior de invernaderos con diferentes películas y al exterior.

Días +	CIQA-01				CIQA-02				CONVENCIONAL				EXTERNOS			
	RT	RFA	°Ti	°Ts	RT	RFA	°Ti	°Ts	RT	RFA	°Ti	°Ts	RT	RFA	°Ti	°Ts
89	553.9	846.7	29.9	33.7	660.2	1185.3	33.3	35.2	669.6	1185.0	33.6	37.0	896.6	1786.5	26.7	25.8
90	389.2	609.4	29.9	34.7	457.5	837.9	30.8	33.7	484.4	856.2	35.0	38.6	647.1	1326.0	26.8	26.3
91	467.3	736.4	30.5	32.1	575.6	1026.5	30.9	31.0	583.8	1047.4	33.8	35.7	795.1	1594.5	27.5	26.9
92	373.0	587.2	29.5	30.8	437.5	760.7	31.9	32.0	462.6	783.5	30.5	32.2	615.8	1268.8	28.6	27.6
93	328.7	507.4	29.4	31.8	390.5	674.1	32.1	33.1	388.1	674.6	31.4	33.3	560.6	1119.3	26.2	25.4
94	574.0	780.8	24.8	28.5	710.5	1142.8	29.1	32.2	717.2	1130.3	28.1	31.8	1023	1970.8	20.7	19.4
95	554.8	812.1	26.7	32.6	700.4	1067.0	27.1	31.2	701.4	1163.2	31.0	35.5	992.2	1942.8	19.8	18.9
96	556.4	844.8	30.2	33.9	699.1	1064.9	29.6	30.5	702.5	1214.3	33.2	36.3	966.0	1868.5	26.3	25.4
97	558.3	857.6	31.4	35.0	691.8	1064.9	34.5	37.0	697.8	1209.3	34.9	38.3	982.0	1888.0	28.8	27.8
99	490.8	754.4	22.4	23.8	587.6	863.3	20.8	22.5	600.1	1057.2	25.2	31.5	929.9	1765.0	17.0	16.3
100	478.2	750.7	28.0	31.8	585.1	849.7	25.9	28.3	588.5	1021.3	30.8	35.5	898.6	1712.3	22.8	22.1
101	319.9	492.2	29.1	32.5	381.8	545.8	30.8	32.3	389.3	664.3	31.0	33.4	603.2	1157.8	28.5	27.8
102	496.0	721.4	32.4	37.1	609.6	896.8	34.8	38.0	615.5	1033.6	35.1	38.9	937.5	1725.5	30.2	29.0
103	284.7	406.6	21.1	23.0	337.2	520.2	27.6	28.2	348.1	579.8	28.0	30.6	557.5	1148.8	18.8	18.3
104	490.3	681.9	29.1	32.3	613.6	941.0	27.6	28.7	617.4	1023.9	32.1	35.2	950.3	1753.3	24.5	23.6
105	491.4	696.6	31.0	33.6	601.3	894.2	30.5	30.7	613.5	1027.6	34.3	36.8	949.9	1699.5	27.3	26.4
106	482.7	699.8	32.8	34.1	599.0	882.5	35.5	36.2	603.1	1016.3	35.0	38.0	932.7	1687.8	32.7	30.7
107	462.8	711.5	32.4	33.5	577.3	918.9	30.6	29.3	582.7	1000.4	34.9	37.2	905.3	1695.5	27.3	26.6
108	483.6	716.5	32.0	34.9	595.6	971.9	31.4	31.4	594.2	1031.6	34.1	37.1	889.2	1633.3	28.0	27.1
109	484.4	746.9	35.5	36.0	602.4	1001.6	35.3	33.9	606.1	1040.3	37.9	39.9	892.7	1610.5	32.4	31.6
110	456.6	715.2	38.0	41.8	557.7	925.7	39.0	40.7	575.9	967.2	40.1	44.4	842.7	1514.3	35.5	34.1
111	444.9	691.6	30.6	31.1	550.6	935.5	29.8	28.4	559.7	957.0	33.1	34.4	832.2	1616.0	27.5	26.9
112	427.7	679.9	29.1	31.2	534.6	916.9	27.3	29.3	536.3	932.0	31.9	36.1	812.9	1584.5	24.3	23.5
113	407.6	618.8	33.9	35.2	489.5	829.5	35.3	36.3	490.6	822.3	35.6	38.9	720.8	1341.2	33.6	32.1
114	518.1	782.0	32.3	35.2	628.1	1057.2	34.8	36.5	639.8	1065.3	35.0	37.1	930.1	1736.8	31.6	30.5
116	466.1	677.8	30.3	31.9	555.1	938.6	29.5	29.1	567.0	946.3	32.3	35.6	850.0	1651.8	27.5	26.8
117	270.9	391.2	26.4	30.9	313.2	519.9	26.0	29.0	320.4	530.0	27.7	33.4	490.5	996.7	22.2	21.7
118	463.9	659.5	32.4	34.3	547.9	913.2	31.7	31.6	564.6	931.3	32.6	37.5	815.6	1554.8	29.4	28.6
119	503.0	706.8	32.6	33.6	597.1	989.6	30.9	30.2	607.3	1000.6	32.8	35.6	888.6	1679.8	28.5	27.7
120	254.1	372.9	32.3	34.7	302.9	514.0	32.1	32.6	299.7	504.4	32.3	35.1	442.8	856.3	29.7	29.3
121	285.8	405.3	30.1	31.7	341.9	581.1	30.9	31.5	340.6	569.3	31.0	33.0	493.2	890.4	28.2	27.7
122	472.6	693.4	28.6	29.2	586.4	1015.5	27.2	26.1	571.9	967.6	29.5	32.2	833.1	1478.2	24.5	23.8
123	404.5	623.6	30.5	35.5	522.9	912.0	28.1	32.0	524.0	888.0	31.1	37.0	744.9	1325.0	24.7	24.0
124	518.4	791.2	34.0	37.3	692.7	1188.3	32.5	33.8	682.2	1155.1	33.2	37.2	953.5	1649.3	29.6	28.6
125	450.2	689.2	34.1	37.1	590.4	1014.2	33.9	34.8	589.6	1002.4	35.8	38.5	844.2	1463.5	31.7	30.9
126	336.5	513.8	31.6	34.3	437.6	725.6	31.9	31.8	425.2	716.0	32.2	34.9	632.9	1123.7	30.2	29.4
127	260.2	389.5	30.7	33.1	336.0	538.3	30.5	30.9	330.3	552.2	31.1	33.6	490.2	874.4	28.9	28.4
128	202.7	309.3	26.1	28.0	263.0	434.0	26.4	26.3	255.5	448.8	26.5	27.9	393.7	744.3	24.7	24.7
129	374.0	550.7	32.7	35.1	469.0	779.4	33.4	33.6	470.3	808.8	33.5	35.8	677.0	1217.6	31.0	30.3
130	499.2	714.5	36.5	40.3	658.8	1014.9	36.9	38.9	643.6	1080.5	37.2	41.6	924.5	1599.3	34.0	32.7
131	335.4	492.3	32.0	34.3	429.1	698.6	31.5	31.5	421.5	741.3	32.0	35.1	617.8	1123.9	30.1	29.5
132	290.9	418.9	34.0	37.0	371.0	586.2	35.6	37.0	363.0	614.7	34.6	38.6	538.1	952.5	34.0	33.0
133	478.2	666.2	36.3	39.9	624.5	969.1	36.7	38.9	626.9	1029.6	35.0	41.0	890.4	1535.3	34.6	33.4
134	466.9	657.5	28.9	29.9	602.5	996.0	27.7	26.8	601.1	1049.7	29.5	32.7	891.4	1688.5	25.8	25.1
135	473.0	671.2	29.8	31.8	607.5	976.1	27.7	27.5	604.7	1052.4	29.8	32.9	895.1	1648.3	25.5	24.6

RT: Radiación Total ($W \cdot m^{-2}$)

RAF: Radiación Fotosintéticamente Activa ($\mu m^{-2} \cdot s^{-1}$)

+: Días Julianos

°Ti: Temperatura inferior (°C)

°Ts: Temperatura superior (°C)

Cuadro A6. Tasa fotosintética total ($\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en plántulas de tomate y chile en invernaderos con diferentes polietilenos.

Especie	Fechas de muestreo				
	10/abr./00	17/abr./00	24/abr./00	01/may./00	
Tomate	0.0088 2 [†]	0.0279 2	0.0961 2	0.1719 2	
	0.0080 3	0.0200 3	0.0680 3	0.1569 3	
	0.0051 1	0.0168 1	0.0653 1	0.1511 1	
Chile	17/abr./00	24/abr./00	01/may./00	8/may./00	15/may./00
	0.0103 2	0.0452 2	0.0805 2	0.1142 2	0.1682 2
	0.0080 1	0.0328 1	0.0654 1	0.0897 3	0.1334 3
	0.0064 3	0.0305 3	0.0619 3	0.0866 1	0.1305 1

[†]: Polietilenos: 2= convencional o testigo, 3= CIQA 02, 1= CIQA 01.

Cuadro A7. Comportamiento promedio de variables agronómicas en muestreos de plántulas de tomate en invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamiento	Variable	Fechas de muestreo			
		10/abr./00	17/abr./00	24/abr./00	01/may./00
Convencional	Peso seco de hojas (mg)	25.2 a [†]	61.6 a	160.6 a	320.2 a
CIQA-01		21.3 a	50.8 ab	152.5 a	307.1 a
CIQA-02		25.4 a	54.3 b	145.1 a	353.5 a
C.V. (%)		10.67	6.07	7.38	8.03
		NS	**	NS	NS
Convencional	Peso seco tallo (mg)	6.15 a	12.7 a	55.5 a	188.9 a
CIQA-01		5.30 a	10.5 b	47.1 ab	170.8 a
CIQA-02		5.60 ab	11.0 b	43.5 b	177.2 a
C.V. (%)		7.78	5.29	8.73	9.02
		NS	**	**	NS
Convencional	Peso seco de raíz (mg)	12.3 ab	25.6 a	53.7 a	96.4 a
CIQA-01		15.8 a	25.0 a	44.4 b	137.8 a
CIQA-02		10.7 b	25.1 a	44.2 b	111.3 a
C.V. (%)		18.02	6.94	7.05	21.77
		*	NS	**	NS

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$).

*, **, NS: Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

Cuadro A8. Comportamiento promedio de variables agronómicas de plántulas de chile en invernaderos con diferentes polietilenos.

Tratamientos	Variables	Fechas de muestreo				
		17/abr/00	24/abr/00	01/may/00	8/may/00	15/may/00
Convencional	Peso seco	17.4 a [†]	81.6 a	143.9 a	186.6 ab	268.1 a
CIQA-01	de hojas	15.9 a	69.3 a	125.6 b	176.6 a	266.3 a
CIQA-02	(mg)	15.9 a	68.3 a	154.0 a	203.8 a	292.2 a
C.V. (%)		8.96	10.48	4.04	6.31	10.98
		NS	NS	**	*	NS
Convencional	Peso seco	6.40 a	21.8 a	62.7 a	112.0 a	179.0 a
CIQA-01	de tallo	6.91 a	18.2 ab	52.2 b	108.2 a	167.9 a
CIQA-02	(mg)	6.26 a	16.8 b	58.3 ab	111.9 a	178.2 a
C.V. (%)		10.13	11.53	8.22	7.20	9.65
		NS	*	*	NS	NS
Convencional	Peso seco	12.9 a	33.20 a	74.71 a	89.94 a	137.1 a
CIQA-01	de raíz	11.2 a	21.23 b	52.94 b	77.47 a	101.1 b
CIQA-02	(mg)	13.0 a	29.19 a	73.26 a	93.42 a	142.1 a
C.V. (%)		10.63	13.57	5.23	10.66	13.79
		NS	**	**	NS	*

[†]: Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$).

C.V.: Coeficiente de variación.

*, **, NS: Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente.

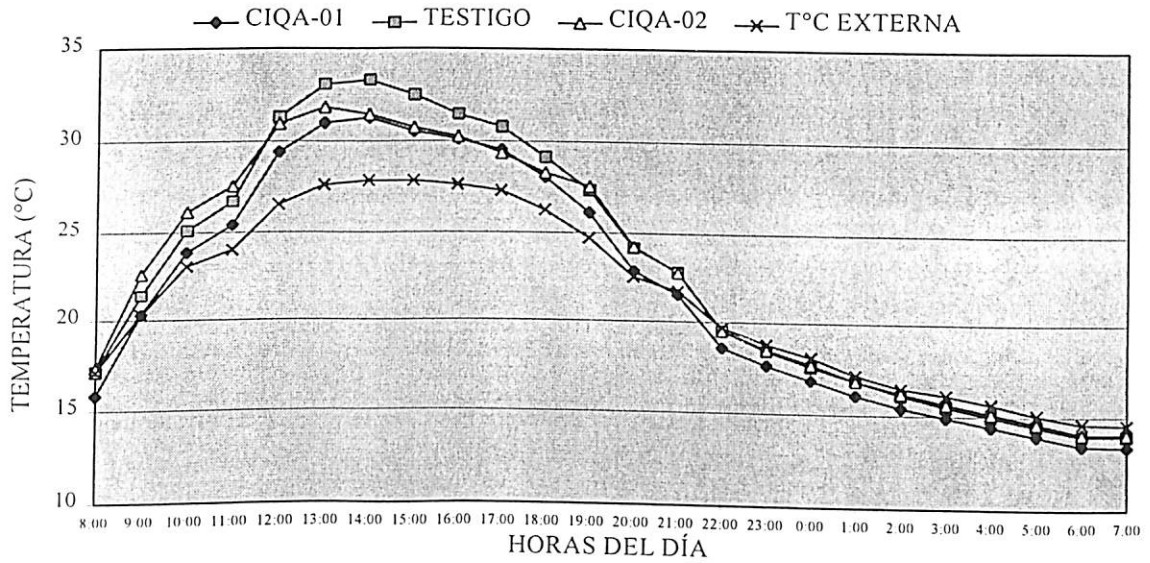


Figura A1. Comportamiento promedio diario de la temperatura inferior externa y la interior en invernaderos con diferentes polietilenos.