

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE MALLA SOMBRA DE COLOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE Y OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS.

CASO DE ESTUDIO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

ING. SAYANI TERESA LOPEZ ESPINOSA



SALTILLO, COAHUILA

12 AGO 2010

AGOSTO 2010

RECIBIDO

17/01/2015
095

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE MALLA
SOMBRA DE COLOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE Y
OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS.**

PRESENTADO POR:

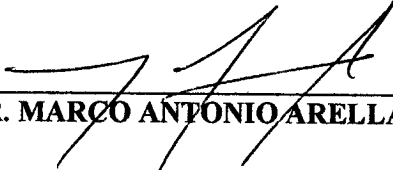
ING. SAYANI TERESA LOPEZ ESPINOSA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

Ha sido dirigido por:


DR. MARCO ANTONIO ARELLANO GARCIA

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2010

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



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

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE MALLA SOMBRA DE COLOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE Y OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS.

QUE PRESENTA:

ING. SAYANI TERESA LOPEZ ESPINOSA

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

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Valdez', with a long horizontal stroke extending to the left.

PRESIDENTE
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Ibarra', with a long horizontal stroke extending to the right.

VOCAL
Dr. Luis Ibarra Jiménez

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2010

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
El Cultivo de Tomate.....	2
Importancia del Tomate a Nivel Mundial.....	2
Temperatura.....	3
Manejo de temperatura.....	4
Humedad relativa.....	4
Humedad relativa para el cultivo de tomate	5
Radiación solar.....	6
Transmisión global de la radiación solar.....	7
Radiación Difusa.....	7
Radiación Solar infrarrojo lejano.....	8
Radiación Fotosinteticamente activa (PAR)	8
Fitocromo.....	8
Fotomorfogenesis.....	9
La Naturaleza Fundamental de las Reacciones Fotomorfogénicas.....	9
Fotosíntesis.....	10
Malla Sombra.....	10
Mallas Sombra de Color (ChromatiNet).....	11
ChromatiNet Azul.....	12
ChromatiNet Roja.....	12
ChromatiNet Gris.....	13
ChromatiNet Perla.....	13
Efecto de las ChromatiNet en los Cultivos.....	13
Propiedades Ópticas de las Malla Sombras.....	15
Transmitancia y Transmisividad.....	15
Efecto Térmico.....	17
Porosidad.....	18
Tipo de tejidos.....	19
A) Malla de fibras tejidas.....	19
B) Mallas laminares o de cintas.....	19

C) Pantalla térmica.....	19
Efecto de la Propiedades ópticas de los materiales plásticos en la actividad fisiológica y morfológico de los cultivos	
1.- En malla sombra en el interior del invernadero.....	20
2.- En malla sombra en el exterior del invernadero	21
3.- En estructura con casa sombra	21
Porcentaje de sombreo	23
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	25
AREA DE OPORTUNIDAD.....	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	29
Recomendaciones.....	30
NOMENCLATURA.....	31
III.- REFERENCIAS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág
1.- Malla de fibras tejidas	19
2.- Mallas laminares o de cintas	19
3.- Pantalla térmica	20
4.- El promedio de los valores para las dos mallas sombra corresponde a los círculos (•), el promedio para las cinco películas de polietileno aparece marcado con un cuadrado (%). Los rangos marcan el error estándar de la media.	22
5.- Malla Sombra Tejido Raschel,	23
6.- Tipos de malla sombra de polietileno con monofilamento redondo de polietileno, 5 años de garantía, color negra. Porcentajes de sombreo disponibles	23

INTRODUCCIÓN

La alimentación es la necesidad primordial del ser humano. Los problemas para la producción de alimentos son muchos y variados, durante los últimos años las condiciones climáticas en todo el mundo no han sido favorables para el desarrollo de la misma. Esta situación ha hecho necesario propiciar importantes ajustes en la producción agropecuaria. Pasando de aproximaciones y especulaciones a una ciencia cuantitativa con habilidades para predecir resultados. Gracias a la aplicación del método científico en la agricultura se han obtenido grandes logros, como: nuevas variedades, plaguicidas, fertilizantes, técnicas de cultivo, métodos de riego, mecanización, manejo pos cosecha, entre otros. Los resultados se han manifestado en una mayor capacidad productiva por unidad de superficie, aumento de la disponibilidad de alimentos y mayor capacidad de sustento a la especie humana.

Las mallas sombra de color se han desarrollado durante la última década para filtrar determinadas regiones del espectro solar, de forma simultánea con inductores de dispersión de luz y están diseñadas específicamente para modificar la radiación incidente. Dependiendo de la pigmentación del plástico y el diseño de punto, las mallas proporcionan distintas mezclas de luz natural, junto con la modificación de la luz difusa. Están destinadas a optimizar la respuestas fisiológica deseable, además de brindar protección física a los cultivos (Shahak *et al.*, 2004; Rajapakse y Shahak, 2007; Fallik *et al.*, 2009).

El empleo de macrotúneles con mallas sombra de color reduce las restricciones de luz, clima, agua y nutrimentos, logrando un eficiente uso de estos recursos. Sin embargo, existe poca información en México acerca del microclima y su respuesta en el rendimiento y crecimiento del tomate en este tipo de sistema de producción en el trópico seco. Con base en lo anterior el objetivo del presente trabajo fue recompilar literatura de trabajos relacionados con el uso de mallas sombra de color en la producción de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Cultivo de Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta perenne, de porte arbustivo que se siembra como anual (Peralta *et al.*, 2005). Su desarrollo es de forma rastrera, semierecta o erecta, dependiendo de la variedad. El crecimiento es limitado en las variedades de tipo determinadas e ilimitado en las indeterminadas (Pérez *et al.*, 2006). Se cultiva en diversos ciclos, dependiendo de las condiciones climáticas, las fechas deseadas de producción, variedades empleadas y destino del fruto (mercado en fresco o industria) (Castilla, 2001). En la actualidad se emplean diferentes sistemas de producción bajo condiciones protegidas para este cultivo, como son, invernaderos, túneles de plástico y malla, cortavientos y acolchado de plástico (FAO, 2002). La tendencia actual de producción es bajo sistemas protegidos; ya que permiten altos rendimientos (hasta 100% más que los sistemas convencionales), así como una producción continua, lo que constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de terreno y agua (Sánchez, 2001).

Importancia del Tomate a Nivel Mundial

El tomate ocupa el tercer lugar en volumen de producción mundial, por ser la hortaliza que más se cultiva bajo condiciones protegidas. Se consume en todo el mundo y alcanza precios elevados en el mercado internacional en ciertas épocas del año (Sánchez *et al.*, 2009). El tomate es un cultivo insensible al fotoperíodo, entre 8 y 16 horas, aunque, (Calvert, 1973). Iluminaciones limitadas, al reducir la fotosíntesis neta, implican mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Sánchez *et al.*, 2009; Baudoin *et al.*, 2002).

En México, el tomate es la segunda especie hortícola más importante en cuanto a superficie sembrada (66,635.31 ha), en sistemas protegidos superan las 1,500 ha (Anónimo, 2009). Se han reportado rendimientos entre 100 y 400 ton ha⁻¹ año⁻¹ (Caraveo-López *et al.*, 1996; Rodríguez-Dimas *et al.*, 2008; Sánchez-del Castillo *et al.*, 2009). A pesar de cultivarse en

todos los estados de la República Mexicana, solo seis concentran el 68 % de la producción nacional, destacando el estado de Sinaloa como el principal productor, seguido de Baja California Norte, Michoacán, San Luis Potosí, Jalisco y Baja California Sur (Anónimo, 2009; FAOSTAT, 2009).

Temperatura

Es el parámetro más importante en el manejo del ambiente dentro de un invernadero y casa sombra con malla, ya que controla las tasas de reacciones metabólicas que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta.

La temperatura en el interior del invernadero y casa sombra, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm. El aumento de la temperatura en el interior y el material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que al traspasar el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando la casa sombra (Jovicich, *et al*, 2000).

Influye en la velocidad de la reacción fotosintética para producción de azúcares, y en la posterior ruptura de los mismos durante el proceso respiratorio. Por ello, el control de la temperatura debe enfocarse a buscar el nivel óptimo en el cual haya un equilibrio entre la tasa fotosintética y la respiración. En la mayoría de las plantas a 5°C la fotosíntesis se detiene, se considera que el intervalo óptimo se encuentra entre 18 y 20 ° C, implican un incremento en la misma, por encima de 35 ° C, se reduce drásticamente. El proceso respiratorio está fuertemente ligado a la temperatura, éste se inicia a 5 ° C, y, entre 5 ° C y 30 ° C, condiciona tanto la producción de azúcares en el proceso fotosintético, el proceso respiratorio y la división celular (Rajapakse, 2004).

Manejo de la Temperatura

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Para una determinada práctica agrícola tenemos que conocer la temperatura mínima letal que es aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta y las temperaturas máximas y mínimas biológicas que indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc. Las temperaturas nocturnas y diurnas indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta (Rajapakse, 2004).

Cuando las temperaturas diurnas son elevadas, un descenso en la temperatura nocturna puede ser beneficioso, pero cuando la temperatura diurna se mantiene a niveles sub óptimos, la elevación de las temperaturas nocturnas favorece el desarrollo vegetativo. En cualquier caso el aumento de la temperatura diurna es siempre más efectivo y más económico que el de la nocturna, lo que se puede unir al empleo de pantallas térmicas para reducir las pérdidas de calor durante la noche (Rajapakse, 2004).

Temperatura Óptima Para el Cultivo de Tomate

La temperatura óptima para el cultivo de tomate oscila entre 20 y 30°C durante el día y 15 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 35°C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12°C también originan problemas en el desarrollo de la planta (Pérez *et al.*, 2006). La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 40°C originan tonalidades amarillentas (Oren-Shamair *et al.*, 2001).

Humedad Relativa

Desde el punto de vista de control climático el valor que se maneja normalmente es la humedad relativa, la cual indica el contenido de vapor de agua en el aire a una temperatura del aire determinada como porcentaje de la capacidad máxima en la saturación. Desde el punto de vista agronómico es más útil trabajar en términos de déficit de saturación, que es la diferencia entre la capacidad de humedad máxima y el contenido real. Cada vez se emplea más este parámetro a los efectos de control climático, sustituyendo a la humedad relativa (Tognoni, 2000).

El contenido de vapor de agua en el aire afecta directamente al proceso de transpiración, el cual es muy importante para el mantenimiento de la turgencia, el transporte de asimilados y elementos minerales y el descenso de temperatura de la planta en periodos de elevada intensidad de radiación solar (Tognoni, 2000). La apertura y cierre estomáticos están regulados principalmente por la diferencia (déficit) de presión de vapor de agua que hay entre la cavidad sub-estomática y el aire. Bajo condiciones óptimas de hidratación de la planta, hay mayor cantidad de agua contenida en dicha cavidad que en el exterior, es entonces cuando se puede producir la apertura estomática, la consiguiente salida de vapor de agua hasta el equilibrio y, a su vez, la entrada de CO₂ a la cavidad sub-estomática indispensable en el proceso fotosintético. Este proceso de apertura de estomas da lugar a una presión de succión transmitida a las raíces, donde se absorben el agua y los elementos minerales disueltos, y su transporte, a la vez que este movimiento actúa como regulador de la temperatura de la planta (Díaz, 2001).

Humedad Relativa Óptima Para el Cultivo de Tomate

En condiciones de baja de humedad relativa, la tasa de transpiración crece, lo que puede acarrear stress hídrico, cierre estomático y reducción de fotosíntesis. La humedad relativa óptima oscila entre un 60 y 80%. Humedades relativas muy elevadas, especialmente con baja iluminación, limitan la evapotranspiración, reducen la absorción de agua y nutrimentos, generar déficit de elementos como el calcio, induciendo desórdenes fisiológicos (podredumbre apical), además favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificultan

la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Díaz, 2001; Tognoni, 2000).

Radiación Solar

Es una forma de energía electromagnética y representa una parte porción total de energía calorífica emitida por el sol. Es la principal fuente de energía para las plantas, representa la fuerza para poder realizar el proceso fotosintético, lograr la producción de biomasa y ejercer una respuesta fisiológica, también influye de manera directa en el rendimiento y respuestas de la planta. La alta radiación provoca la activación de procesos en el meristemo en la planta de tomate y el crecimiento acelerado de las hojas (Hussey, 1963; Martínez, 2003). La radiación solar se divide en porciones con diferentes longitudes de onda, cada rango de longitud de onda actúa sobre diferentes procesos en el crecimiento de las plantas (germinación, enraizamiento de esquejes, control del fotoperíodo, favorecer la floración, etc), esta respuesta es mediada por varios sistemas fotoreceptores (fitocromo, fotoreceptor UV-V y fotoclorofilina) basados en pigmento que controlan las distintas etapas del desarrollo de la planta (Díaz-Infante, 1988).

Las plantas son muy sensibles tanto a la cantidad como a la calidad de la luz. Los primeros esfuerzos en la manipulación de la luz para el uso de la agricultura y la horticultura estuvieron dirigidos hacia el control de la cantidad de la luz, para optimizarla de acuerdo a las necesidades específicas de cada cultivo. Sin embargo, las plantas responden también a la calidad (la distribución del espectro) de la luz incidente (Martínez, 2003).

Valores de radiación total diaria en torno a 0.85 MJ m^{-2} son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado en el cultivo del tomate (Jovicich, 2000). Los efectos negativos de una baja iluminación pueden compensarse en parte con aumentos del contenido en dióxido de carbono (CO_2) del aire.

La radiación solar y la temperatura están directamente correlacionadas. A mayor nivel de radiación solar mayor temperatura y a mayor de temperatura mayor transpiración y mayor

consumo de agua. A mayor luminosidad en el interior de la casa sombra se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el CO₂ (Rajapakse, 2004).

La radiación solar deficiente y las temperaturas elevadas pueden provocar una excesiva excerción estigmática y un desarrollo deficiente del endotecio. Para que se produzca la germinación, los granos de polen deben adherirse al estigma, para lo que es aconsejable que la humedad relativa se encuentre por encima del 70% y la temperatura esté en el intervalo de 17 a 24°C (Rajapakse, 2004).

Transmisión Global de la Radiación Solar

Es la cantidad de radiación solar visible total que deja pasar una malla sombra dentro del invernadero o casa sombra. Una buena cubierta debe tener una transmisión global por encima del 80%. Menos porcentaje se traduciría en menor luminosidad que afectaría tanto a la precocidad como al rendimiento del cultivo (Tognoni, 2000).

Radiación Difusa

La radiación solar difusa es la cantidad de rayos que son fragmentados hasta el inferior de la planta para permitir un alto rendimiento y producción de cultivo que se utilice, que al atravesar la cubierta plástica o malla sombra sufren una desviación superior a 5 % del rayo incidente. Toda la radiación solar que pasa dentro del invernadero puede ser directa o difusa dependiendo de la desviación que haya sufrido al atravesar la cubierta. Se mide en % con el mismo aparato que la transmisión global (Tognoni, 2000).

Un mayor porcentaje de radiación solar difusa no se traduce necesariamente en menos luminosidad; sino en que la radiación solar dentro del invernadero está más repartida por toda la superficie (plantas, estructura). Esto evita la formación y sombras que se producen cuando la radiación solar es demasiado directa. Además puede evitar el riesgo de quemaduras en la parte aérea de las plantas al ser menos incidente (Tognoni, 2000).

Radiación Solar Infrarrojo Lejano

Existen determinadas malla sombras que tienen la propiedad de reflejar gran parte de la radiación incidente hacia la planta. De esta forma la planta tiene un aporte lumínico extra que provoca mayor precocidad y producción (Jovicich *et al.*, 2000).

Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

Son las longitudes de onda que las plantas utilizan, se le conoce como radiación fotosintéticamente activa o PAR (400 a 700 nm, cerca de 45 al 50% de la radiación global). La radiación fotosintéticamente activa actúa sobre la asimilación de carbono, la temperatura de las hojas, el balance hídrico, el crecimiento de órganos y tejidos, el desarrollo de tallos, expansión de hojas, la curvatura de tallos, la germinación de semillas y en la floración (Rajapakse, 2004).

Fitocromo

El fitocromo, es una proteína presente en organismos vegetales y su función es actuar como fotoreceptor de luz roja 600-700 nm y rojo lejano de 700-800 nm, gracias a que posee un cromóforo en función del tipo de luz detectada puede desencadenar distintas respuestas en la planta, como la germinación (Cerny *et al.*, 1999) y es el pigmento principal involucrado en la fotomorfogénesis (McMahon and Kelly, 1990). Este fotoreceptor controla la fotomorfogénesis con los cambios de radiación solar mencionada durante el crecimiento de la planta (Rajapakse *et al.*, 1993; Rajapakse *et al.*, 1999).

El fitocromo puede detectar las longitudes de onda roja (600 a 700 nm), roja lejana (700 a 800 nm) y posiblemente la azul (400 a 500 nm) (Runkle y Heins, 2001). El fitocromo regula las respuestas de las plantas como la germinación de semillas, la elongación de las plántulas, el tamaño, forma y número de hojas y la síntesis de clorofila (Smith, 1975).

Baja relación en la radiación R (rojo): RL (rojo lejano) causa una reducción en la proporción de fitocromos que están en la forma activa y esta reducción estimula la elongación del tallo. Alta relación R:RL favorece la fotosíntesis y, por tanto, mayor producción de azúcares y materia seca, estimulando el crecimiento (Rajapakse, 2004).

Fotomorfogénesis

Es el crecimiento, desarrollo y diferenciación de la planta dependiente indirectamente de la radiación solar, pero no relacionado con la fotosíntesis (Rajapakse *et al.*, 1999). La fotomorfogénesis incluye las formas en que la radiación solar puede regular el crecimiento y desarrollo que no están incluidos por los fenómenos de fototropismo y fotoperiodo (Smith, 1975).

Las respuestas fotomorfogénicas ocurren a lo largo de la vida de una planta. Son responsables de controlar la elongación del tallo, la expansión de las hojas, la germinación de semillas, fototropismo y geotropismo, la síntesis de clorofila, el desarrollo de la estructura del cloroplasto, la formación de estomas, la pubescencia en hojas y la síntesis de una gran variedad de metabolitos secundarios. No todas estas respuestas están reguladas por la radiación solar al mismo tiempo en cualquiera de las especies y varias respuestas son posibles (Smith, 1975).

La Naturaleza Fundamental de las Reacciones Fotomorfogénicas

Una secuencia básica de eventos se produce cuando la radiación solar es absorbida por una molécula fotoreceptora y su reactividad química es lo que cambia (Smith, 1975). El cambio químico en el fotoreceptor inicia una secuencia de los procesos metabólicos que controlan la respuesta fisiológica y morfológica de la planta, la cual tiene la habilidad de detectar los cambios sutiles en la composición de la radiación solar (Rajapakse *et al.*, 1999). Tres clases de fotoreceptores son conocidos para detectar la calidad de la radiación solar: fitocromo, criptocromo y el receptor de radiación solar ultravioleta (Runkle y Heins, 2001).

Fotosíntesis

Es un factor imprescindible para llevar a cabo una serie de procesos fisiológicos en las plantas. Los pigmentos vegetales involucrados en la fotosíntesis son las antocianinas (azul, roja y púrpura en color), los carotenoides (naranjas y amarillos en color) que absorben longitudes de onda desde 450 a 500 nm (azul y verde) y pueden cambiar energía con la clorofila para ayudar en la fotosíntesis; los fitocromos que absorben la radiación roja (600-700 nm) y la radiación roja lejana (700-800 nm) siendo responsables por la fotomorfogénesis y por las respuestas de fotoperiodismo (Díaz, 2001).

La calidad de la radiación varía ligeramente en la naturaleza, de acuerdo con la localización de la producción o invernadero. Esta tiene influencia en la tasa fotosintética. A mayor altitud, las plantas están más expuestas a longitudes de las fracciones azul y ultravioleta del espectro de radiación (Rajapakse *et al.*, 1993; Rajapakse *et al.*, 1999).

Un aumento de energía luminosa (PAR) dará lugar a un incremento de la tasa fotosintética. En condiciones mediterráneas la intensidad luminosa no es un problema desde el punto de vista de PAR, sí lo es, en cambio, en cuanto a la radiación calorífica que da lugar a un incremento excesivo de la temperatura del aire en los invernaderos (Rajapakse, 2004).

Mallas Sombra

Las mallas son usadas en la producción hortícola para proteger al cultivo de la radiación solar excesiva, de los riesgos del ambiente (viento y granizo) o de plagas voladoras (aves e insectos). Las mallas negras son las más usadas comúnmente para dar sombra, mientras que las mallas blancas son usadas para proteger el cultivo de insectos y aves, pero existe otros colores como; rojo, azul, perla, etc. (Rajapakse y Shahak, 2007).

Las casas sombra son más ligeras que los invernaderos (Romacho *et al.*, 2006) y el microclima es influenciado por la permeabilidad del viento y la lluvia (Castilla, 2007). Por lo que su costo es menor. Este tipo de estructuras han sido adoptadas en muchos países del mediterráneo en años recientes (Möller *et al.*, 2003) y pueden ser una alternativa para una buena calidad en la producción durante la primavera y verano.

Benavides-Mendoza (1998), menciona que las películas fotoselectivas modifican la actividad fisiológica, morfología, distribución selectiva de biomasa y la absorción de nutrientes minerales en diferentes especies de plantas. Dicho efecto biológico es mediado por fotoreceptores específicos con los cuales la planta monitorea y percibe la irradiancia y el balance espectral modificando la expresión de los genes, cambiando los caracteres bioquímicos y fisiológicos, así como los programas de desarrollo que determinan la estructura de la planta.

Mallas Sombra de Color (Marca) ChromatiNet

Las mallas de color marca (ChromatiNet) se han desarrollado para filtrar determinadas regiones del espectro solar, representan nuevos conceptos agrotecnológico diseñadas para utilizar las propiedades ópticas y mejorar el uso de la radiación solar recibida por los cultivos. Dependiendo de la pigmentación del plástico y el diseño de punto, las mallas proporcionan distintas mezclas de radiación solar natural, junto con la modificación de la radiación solar difusa. Fueron diseñadas para optimizar respuestas fisiológicas deseables como el rendimiento, la calidad del fruto, la tasa de maduración y mejoran el clima en el interior de estas, además de brindar protección física a los cultivos (Shahak *et al.*, 2004b; Arcidiacono *et al.*, 2006; Rajapakse y Shahak, 2007; Velásquez, 2007; Shahak *et al.*, 2008; Shahak, 2009; Fallik *et al.*, 2009). La tecnología se basa en mallas de plástico en las cuales varios cromóforos y varios elementos de dispersión y reflexión de radiación solar se introdujeron durante la fabricación. Estas mallas están diseñadas para detectar varias bandas espectrales de la radiación solar y transformar la radiación solar directa en radiación solar difusa. La manipulación espectral tiene la intención de promover específicamente respuestas fisiológicas deseadas, que son regulados por la radiación solar, mientras que la dispersión mejora la penetración de la radiación solar modificada (Shahak, 2008).

La empresa Polysack ha introducido dos tipos de malla sombra: las de color (azul, amarillo y rojo) que modifican el espectro de radiación solar visible y las que no son de color (negro, gris y perla) que modifican el espectro de radiación solar no visible y/o dispersión de la radiación solar (Shahak, 2009). Las redes están hechas de polietileno de alta densidad y son estables frente a la radiación UV de 4 a 5 años, una ventaja significativa sobre las actuales tecnologías de película de plástico (Polysack, 2009).

(Marca) ChromatiNet Azul

La malla ChromatiNet azul, ha demostrado reducir la transmitancia del espectro solar rojo, rojo lejano y ultravioleta e incrementa la transmisión del espectro solar azul (Shahak et al., 2004a; Ganelevin, 2008). Kawabata *et al.* (2006) observaron una reducción del contenido de clorofila en la hoja de *Dracaena* en comparación con la malla negra estándar, debido a la reducción en la radiación roja. Oren-Shamir *et al.* (2001), reportaron la inhibición de la elongación del tallo, la reducción de ramificaciones y entrenudos en *Pittosporum variegatum*.

(Marca) ChromatiNet Roja

Reduce los espectros de radiación solar azul, verde y amarillo e incrementa el espectro de radiación solar roja y roja lejana. Las plantas tienen hojas de mayor tamaño, follaje verde oscuro y tallos más largos y gruesos en tomate (Ganelevin, 2008; Polysack, 2009). Oren-Shamir *et al.* (2001), reportaron que se afectó la elongación del tallo en *Pittosporum*. Kawabata *et al.* (2006), reportaron que las plantas de *Dracaena* crecidas bajo la malla ChromatiNet roja al 70 % eran más altas, pero los productores la calificaron de baja calidad debido a su tamaño de hoja pequeña. La planta más grande fue atribuido al aumento de la radiación fotosintéticamente activa en la ChromatiNet roja, lo cual propició un aumento en la fotosíntesis en comparación con otros tratamientos.

(Marca) ChromatiNet Gris

Refracta la radiación solar a través de su material que permite una mejor distribución de la radiación solar (Polysack, 2009). Crea una barrera termo reflexiva, absorbe la radiación infrarroja y por lo tanto la creación de un microclima más fresco (Shahak *et al.*, 2004a; Shahak, 2009). Las plantas de tomate cultivadas en la malla ChromatiNet gris mostraron un aumento en el número de brotes, yemas y ramificaciones (Oren-Shamir *et al.*, 2001).

(Marca) ChromatiNet Perla

Tiene la capacidad de dispersar la radiación solar entrante, lo que resulta en aumento de la eficiencia fotosintética en el cultivo de tomate (Shahak *et al.*, 2004a,b; Ganelevin, 2008). Esto produce un crecimiento acelerado de la planta, un aumento en el número de ramas secundarias y en general mejor calidad de planta (Polysack, 2009).

Efecto de las (Marcas) ChromatiNet en los Cultivos

En la industria comercial bajo sistemas protegidos, la habilidad para controlar la altura de planta es extremadamente importante en tomate (Rajapakse *et al.*, 1999). Los compradores se están volviendo muy específicos sobre el tamaño exacto de las plantas compradas y una adecuada regulación de la extensión del tallo y el crecimiento lateral de las plantas, lo cual puede aumentar el valor comercial del fruto (Clifford *et al.*, 2004; Langton, 1998). Los productores prefieren frutos, uniformes (Garner *et al.*, 1997).

La manipulación de la radiación roja y roja lejana puede alterar el crecimiento de muchas especies de plantas (Oren-Shamair *et al.*, 2001). Un ambiente de crecimiento con una alta radiación roja, favorece la producción de plantas compactas (Rajapakse *et al.*, 1999).

En cuanto otros cultivos, bajo las mallas de color, inicialmente desarrolladas con ornamentales comerciales que crecían bajo malla negra, se han reportado efectos que estimularon el crecimiento vegetativo, vigor, enanismo y mayor ramificación (mallas de color amarillo, roja, azul y gris, respectivamente) en *Pittosporum variegatum*, *Aralia* y *Philodendron monstera* (Rajapakse y Shahak, 2007; Shahak, 2008). Investigaciones más recientes tienen por objetivo estudiar el beneficio potencial de las mallas de color en viñedos y árboles frutales (e.g manzana, plátano, níspero, durazno, pera, aguacate y cítricos) dando como resultado una mejora en el rendimiento, calidad y color de fruto (Shahak *et al.*, 2004b; Shahak *et al.*, 2008).

Arcidiacono *et al.* (2006) reportan reducciones en la altura de gardenia sin la necesidad de usar reguladores químicos de crecimiento bajo película fotoselectiva que dejaba pasar mayor radiación solar roja y roja lejana. Por otra parte (Kleemann (2004) reporto menor peso seco en plantas de lechuga que crecieron bajo películas fotoselectivas que permitían el paso de radiación solar roja lejana.

Bueno (1984) reportó que las películas de PVC fotoselectivas de color azul y roja redujeron la transmisión de las radiaciones electromagnéticas verde-amarilla e incrementaron las azules y rojas, también encontró que la película azul controló mejor la temperatura, redujo de uno a dos grados la temperatura en el interior con respecto a la máxima externa y se incrementaron de uno a dos grados por la noche con respecto a la mínima exterior registrada, recomendando las películas azules para semilleros, cultivos de hoja y tubérculos, mientras que la roja para cultivos precoces como sandía, berenjena, tomate, pimiento, fresón y flores. Por otra parte, Serrano (1990) reporto que las radiaciones azules y rojas son más favorables para el desarrollo horizontal de las plantas (tallos menos largos, mayor peso de hojas, mayor peso de raíces, etc.), además consiguió reducir la temperatura en uno o dos grados centígrados en las horas de máxima luminosidad. También Bidwell (1993) reportó que la calidad de la radiación solar en las bandas violeta, azul oscuro y azul es óptima para la germinación, el tamaño de las hojas y para el enraizamiento; en cambio, la radiación solar en las bandas verde y amarilla es regular para estos mismos procesos.

Propiedades Ópticas de las malla sombra de color

Las mallas sombra de color ayudan a controlar el espectro luminoso y tienen propiedades ópticas; transmitancia o transmisividad, porcentaje de sombreo efecto térmico, que mejoran el uso de la radiación solar. Existen otras propiedades de las mallas como tipo de tejido, porosidad y porcentaje de sombreo que son de importancia ya que estas se reflejan en el rendimiento del cultivo (Polysack, 2009).

Las mallas de diferentes colores dejan pasar diferentes longitudes de onda de radiación solar que las plantas pueden utilizar en diversos sistemas fisiológicos y durante el desarrollo. Bajo la malla de color perla la radiación solar se difunde en gran medida y cubre más partes de la planta, tales como la parte baja de los tallos y las hojas inferiores. Hay una mayor eficiencia fotosintética que promueve un crecimiento acelerado de plantas más pesadas, mejor calidad y rendimientos más altos. Los productores israelíes en el desierto del Negev en Israel han comenzado a producir cultivos de verano de pimientos utilizando la malla de color perla. Aún se conducen investigaciones para poder obtener la mejor combinación de mallas de colores, para el desempeño óptimo de diversos cultivos (Clifford *et al.*, 2004).

Transmitancia o transmisividad

SAGARPA (2010) menciona que una de las propiedades ópticas de las malla sombras es la transmisividad o transmitancia; la cual es la propiedad que deja pasar la radiación solar a través de la cubierta, se expresaría como la relación entre la radiación en el interior de la casa sombra y la medida en el exterior. La proporción de radiación que atraviesa la lámina se conoce como transmisividad y depende de las características de la malla y del tipo de radiación (directa o difusa). La calidad de radiación es afectada al atravesar la malla. En caso de radiación directa, la transmisividad depende del ángulo de incidencia que forman los rayos solares con la línea perpendicular a la superficie de la malla, siendo mayor la transmisividad cuanto mas perpendicular caiga el rayo solar sobre la cubierta. Cuando la radiación solar que incide sobre la

lámina es difusa, no cabe hablar de ángulos de incidencia, al provenir la radiación de todo el cielo.

Las características de la lámina (espesor, material, % de sombreo) determinarán su transmisividad. Las láminas plásticas usuales de polietileno empleadas en nuestros invernaderos tienen transmisividades máximas (a la radiación solar directa) del orden del 85 al 92% (Montero y *et al.*, 2001). Algunos plásticos existentes en el mercado, tienen un gran poder de difusión de la radiación, de modo que aumentan notablemente la proporción de radiación difusa dentro del invernadero cubierto con esas láminas plásticas. Con radiación difusa (a direccional) la forma de la cubierta tendrá poca relevancia sobre la transmisividad global de la casa sombra. En cambio, con radiación directa la geometría de la cubierta del invernadero y su orientación (norte-sur, este-oeste) determinarán los ángulos de incidencia de los rayos solares sobre la cubierta y, en consecuencia, la transmisividad global del invernadero. Ello tiene interés agronómico siempre que dicho poder difusor no conlleve una reducción relevante de la transmisividad pues la radiación difusa, por su carácter a direccional, es más eficiente para la fotosíntesis que la directa a igualdad de cantidad de radiación (Montero y *et al.*, 2001).

La transmitancia de la radiación solar a través de la malla influye tanto en el balance energético del invernadero como en la actividad fotosintética del cultivo, ya que el material de cobertura provoca una reducción en la intensidad de la radiación y una modificación en la distribución espectral (Goldberg *et al.*, 1996). Esta reducción depende principalmente del material utilizado como cobertura y también de los materiales utilizados en la estructura. El material de recubrimiento tiene que favorecer la entrada de la radiación solar incidente y al mismo tiempo limitar, especialmente en horas nocturnas, la pérdida de la energía térmica acumulada. Por ello es importante establecer para cada material la transparencia a la PAR y al infrarrojo, así como poder inferir su comportamiento a lo largo del tiempo, al ser expuesto a las condiciones ambientales características del lugar y al manejo del cultivo (Alpi y Togniioni, 1991).

Efecto térmico

Es la propiedad que tienen algunos plásticos de retener el calor que se disipa por la noche. De frenar las pérdidas de calor nocturnas con lo cual evita que la temperatura baje excesivamente dentro de la casa sombra. Durante el día, la radiación visible e infrarroja corta que llega dentro de la misma calienta el suelo, las plantas y la estructura. Durante la noche estos cuerpos pierden el calor acumulado en forma de radiación infrarroja de larga longitud de onda (Oren-Shamair et al., 2001).

Existen algunos plásticos, los llamados térmicos, que contienen ciertos aditivos incorporados en su fabricación que los hacen opacos a estas radiaciones infrarrojas. De esta forma el calor queda atrapado dentro del invernadero evitando el enfriamiento y las posibles inversiones térmicas.

El efecto térmico se mide en transmitancia I.R. lejano (mayor a 2500 μ .), es decir lo que transmite o deja pasar la malla en una determinada zona del espectro, I.R. Por tanto, a mayor transmitancia I.R. menor termicidad y viceversa (Polysack, 2009).

En Yucatán, las condiciones de radiación solar y temperatura permiten producir todo el año; pero, durante la sequía, las altas temperaturas restringen la producción y favorecen el incremento de plagas transmisoras de virosis. Para reducir dichos efectos se puede utilizar malla sombra, cuyo objetivo no es reducir el exceso de temperatura. En este estudio se evaluó el efecto del uso de malla sombra blanca, con un 50% de sombreo, sobre el desarrollo, incidencia y severidad de virosis, y el rendimiento de diferentes cultivares de tomate, chile: Anaheim, Poblano, Pimiento, Jalapeño y el criollo. Todos los materiales se evaluaron bajo sombreo y a la intemperie. Las plantas bajo sombreo tuvieron mayor altura (20 a 40 %) que las que estuvieron a la intemperie (de la Cruz, 2007).

En cuanto a los síntomas de virosis, las plantas a la intemperie presentaron una incidencia entre el 50 y 87% y severidad de 2 a 3; mientras que en las que estuvieron bajo sombreado la incidencia varió entre 11 y 55%, y la severidad fue de 1. La escala de severidad fue de 0 (sana) a 3 (con síntomas severos). El rendimiento bajo sombreado fue mayor que al intemperie; la menor diferencia se presentó en el chile X'cat (conocido así en Yucatán), un rendimiento de 16.3 ton/ha.⁻¹ sin sombra y 27.2 ton ha.⁻¹ con sombra, y la calidad del fruto también se incrementó con el sombreado (de la Cruz, 2007).

Porosidad

El objetivo perseguido es tener perfectamente diferenciadas las regiones correspondientes a poros, de las que se corresponden con hilos. De esta manera se determina la porosidad de la malla, ya que ésta se expresa como la relación que existe entre la superficie de poros con respecto a la superficie total (Alvares *et al*, 2010).

Cuando no existen poros entre las diferentes láminas de la malla se denominan cerradas y en el caso contrario abiertas, siendo estas últimas el tipo más usual en las mallas de sombreado ya que permiten una mejor circulación del aire. En verano las temperaturas máximas bajo mallas claras son ligeramente más altas que al aire libre mientras que en mallas espesas la diferencia puede ser importante (más de 10°C). En invierno, las temperaturas mínimas bajo malla son ligeramente más altas que al aire libre. En las mallas claras la diferencia es muy pequeña y mayor en las entretejidas finas. Las mallas espesas (10 x 10 ó 10 x 15 hilos cm⁻¹) son protecciones especialmente adecuadas a cultivos de verano (Rajapakse y Li, 2004).

La radiación neta bajo la pantalla depende principalmente del porcentaje de sombra que la malla proporciona y del tipo de material que lo constituye. Con el fin de aumentar la reflexión de las mallas, las láminas pueden estar metalizadas con aluminio, llamadas aluminizadas. Éstas últimas absorben menos radiación, calentándose menos y logrando una mayor disminución de temperatura, cuando el invernadero esté suficientemente ventilado (Valera, 2009).

Tipo de tejido

- A) Mallas de fibras tejidas. En este tipo de mallas las propias láminas de la pantalla, de un ancho entre 1 y 3 mm, constituyen las fibras del tejido entrelazado. La densidad de la malla y el porcentaje de sombreo obtenido depende principalmente del tamaño de los huecos, Figura 1 (Valera, 2009).

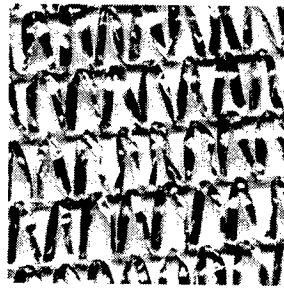


Figura 1: Malla de fibras tejidas

- B) Mallas laminares o de cintas. Están constituidas por mallas tejidas de poliéster de gran resistencia sobre la que se sujetan las láminas o cintas que constituyen la pantalla mediante hilos monofilamentados de polietileno de alta densidad. La densidad de la malla depende de la separación entre las láminas insertadas. Estas pueden insertarse de forma plana o en espiral, con la intención de aumentar la difusión de la luz solar, figura 2 (Valera, 2009).

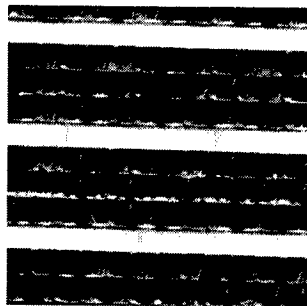


Figura 2: Mallas laminares o de cintas

C) Pantalla térmica: Este tipo de pantallas provocan un aumento de la temperatura mínima nocturna de la casa sombra, el cultivo y el suelo, debido a la menor pérdida de radiación de onda larga por la noche y por renovación de aire. También disminuyen la transpiración nocturna del cultivo y se reduce el calor consumido por evapotranspiración y complementa los sistemas de calefacción, reduciendo significativamente el gasto de combustible, por el tipo de tejido disminuye la pérdida de radiación. Figura 3 (Valera, 2009).

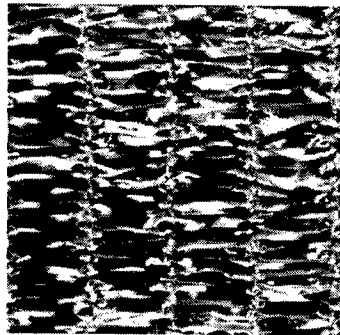


Figura3: Pantalla térmica

Efecto de las propiedades ópticas de los materiales plásticos en la actividad fisiológica y morfológica de cultivos hortícolas.

1. En Malla Sombra en el interior de la casa sombra.

En las mallas colocadas en el interior del invernadero, la energía absorbida por la malla se transforma en un flujo de calor que debe eliminarse por ventilación. Las mallas colocadas dentro del invernadero dificultan el movimiento vertical de aire desde el cultivo, y el paso del aire caliente hacia las ventanas cenitales ya que el calor es almacenado en la parte intermedia entre la cubierta y la malla (Valera, 2009). El sombreado debe asociarse a un sistema de ventilación eficiente que permita la eliminación de calor mediante la extracción del aire cálido del interior del invernadero, el gradiente térmico que se consigue es menor, debido al calentamiento de la malla como consecuencia de la absorción de radiación solar y además, reduce la circulación de aire por el interior del invernadero (Alvares *et al.*, 2010). La entrada de la radiación solar es reducida y por ende se obtiene reducción homogénea de

productividad en el cultivo. La malla al captar la radiación, absorbe una parte de ella, calentándose, y se convierte en un radiador de calor al microambiente. A esto se añade la resistencia que la malla opone a la renovación de aire por las ventanas, ya que es un obstáculo para el flujo del aire que sale y que entra al invernadero (Elorza *et al.*, 2003).

También las pantallas térmicas cerradas, sin poros entre las fibras que constituyen la malla, colocadas en esta posición reducen la transferencia de energía por convección a través de la cubierta. Esta reducción es mayor cuanto menor es la reflexión de la pantalla a la radiación infrarroja como ocurre en el caso de las pantallas aluminizadas (Valera, 2009).

2.- En el exterior de la casa sombra.

La colocación de las malla sombras en el exterior del invernadero produce una mayor disminución de la temperatura dentro del mismo. La salida de calor que se genera por el incremento de temperatura en la malla, debido a la absorción de radiación, se produce en el exterior por acción del viento (Valera, 2009). Así impiden realmente la entrada de una parte de la radiación solar. El resultado será favorable si en su composición posee materiales reflectantes, como son las mallas aluminizadas, que intercaladas entre bandas translúcidas, reflejando una parte de la radiación incidente y se calientan menos (Jovicich *et al.*, 2000). El calor se va hacia el aire circulante y la interferencia al flujo de aire de ventilación es menor, sin embargo, estas mallas tienen un montaje automatizado más complejo y una vida útil más limitada, en zonas con fuertes vientos pueden dañar la estabilidad de la estructura del invernadero cuando se encuentran desplegadas (Alvares *et al.*, 2010).

3.- En Estructuras de Casa Sombra.

El uso de casas sombra, durante la época de máxima radiación solar del año. Las más empleadas son las negras y las blancas, de diversas densidades de tejido y distintos materiales, polietileno, polipropileno, poliéster, metacrilato, materiales aluminizados, etc., aún cuando el más frecuente es el polietileno combinado con el polipropileno, la eficacia de estas mallas es

buenos como amortiguadores de las temperaturas y los déficits de saturación excesivos. (Polysack, 2009).

Benavides-Mendoza *et al.* (1999) evaluaron el efecto de diferentes ambientes espectrales sobre las variables fotosintéticas: asimilación de CO₂ (*A*), punto de compensación para la asimilación de CO₂ (*'*) y la eficiencia de carboxilación de la Ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa, que pudiesen aplicarse como emisores de la productividad de la espinaca (*Spinacia oleracea* L. var. Santa Elena). Utilizaron películas de polietileno y polipropileno como filtros de la radiación solar para generar los ambientes espectrales de crecimiento de las plantas. Tomaron lecturas en días completos de las variables densidad de flujo fotónico de la radiación fotosintéticamente activa (PPFD), temperatura del dosel, *A*, conductancia estomática (CE), además de medir la biomasa fresca y seca de las plantas. Los valores de *'* y de la eficiencia de carboxilación de Rubisco fueron determinados en las horas de máxima irradiancia. Se observó correlación positiva de PPFD con *A* ($r=0.95$, $p<0.01$) y con la biomasa seca ($r=0.93$, $p<0.01$). La correlación entre *A* y la biomasa seca fue de $r=0.88$ ($p<0.01$). El valor más bajo de *'* ($52.02 \mu\text{l l}^{-1}$) se encontró en el tratamiento con mayor PPFD y el más alto ($76.63 \mu\text{l l}^{-1}$) en el de PPFD más baja y con la biomasa fresca y seca ($r=-0.84$, $p<0.01$).

Se presentaron como emisores eficientes de la biomasa final de las plantas. Los cambios fisiológicos observados fueron determinados por ajustes bioquímicos encaminados hacia la adaptación del aparato fotosintético a las diferentes cantidades de radiación (Figura 4).

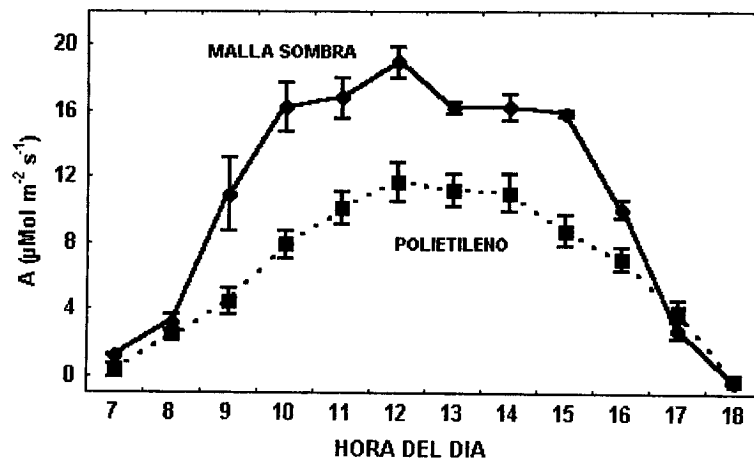


Figura 4. El promedio de los valores para dos mallas sombra corresponde a los círculos (•), el promedio para las cinco películas de polietileno se indica con un cuadrado (%). Los rangos marcan el error estándar de la media.

Porcentaje de Sombreo

Es una propiedad que brindan las mallas sombras debido a que son definidas por el porcentaje de sombra que proporcionan al cultivo que crecen bajo este sistema que influye directamente en el rendimiento del cultivo (Ayala, 2004).

Malla Sombra Tejido Raschel, es importada. Malla tejida tipo raschel (anudada) de cinta de polietileno con 3 años de garantía, color negra. Existen porcentajes de sombreado disponibles. Rollos de 4.2 x 100 m. Las diferencias principales contra la de monofilamento es que esta, es más ligera y económicas, figura 5 (Valera, 2009).

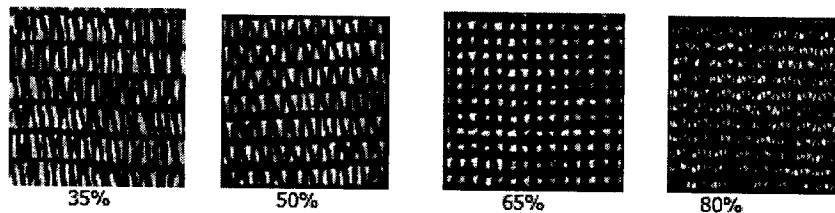


Figura 5

Tipos de malla sombra de polietileno con monofilamento redondo de polietileno, 5 años de garantía, color negro. Porcentajes de sombreado disponibles, figura 6.

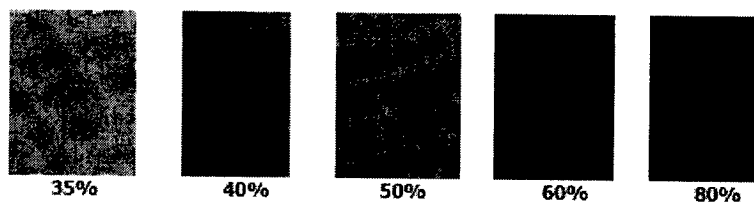


Figura 6

Eitiel (2009) valoró tres mallas negras de distinto porcentaje de sombreo (Negra 30%, negra 40%, negra 50%, estas son las marcas), y una pantalla termo-reflectora (Aluminet 40%), se compararon 4 variedades de pimiento rojo en el sistema de cultivo llamado reshet plast. La finalidad del ensayo fue evaluar la utilización de: malla de sombreo sobre el plástico para disminuir temperatura. Se encontró que la malla Aluminet con 40% de sombreo, obtuvo en cada una de las 4 variedades de pimiento rojo una mayor producción. Para la malla negra de 30% y 40 % de sombreo, hubieron resultados variados según variedades, obteniéndose una ventaja clara (mayor producción) a favor de la negra 30%. Bajo la malla negra con 50% de sombreo, se dio la menor producción para cualquiera de las 4 variedades evaluadas.

Ayala (2004) valoró agronómicamente la foto selectividad de mallas negras, aluminadas, grises, azules, rojas y perladas, cada una con 50 y 30% de sombra. Determinó la cantidad y calidad de la radiación que transmitieron, así como el efecto que ocasionaron en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de frutos en plantas de tomate bajo condiciones de casa sombra. Los resultados encontrados para área foliar específica fue mayor en las mallas azul y aluminada con 50 % de sombra, y más menor en las mallas perla y roja con 30 % de sombra. Asimismo, el rendimiento total de tomate comercializable y de exportación, fue significativamente mayor con la malla perla con 30 % de sombra. Para las mallas negra y aluminada con 50% de sombra, el rendimiento para mercado nacional fue mayor con la malla azul con 50 % de sombra y los menores rendimientos de esa calidad se lograron con las mallas rojas y perladas. Por lo que se concluyó que debido al color y porcentaje de sombra, las mallas modificaron significativamente el ambiente luminoso de las plantas. Alterando la radiación total transmitida (RT, 350 a 1050 nm) y su composición espectral (PAR, 400 a 700 nm); radiación solar azul (LA, 400 a 500 nm); radiación solar roja (LR, 600 a 700 nm); y radiación solar roja lejana (LRL, 700 a 800 nm)], lo cual influyó en las variables del crecimiento y desarrollo, evaluadas en las plantas de tomate. De acuerdo a los resultados se comprobó que las mallas de color perla con el 30% de sombreo presentan una alternativa eficaz mejorando el rendimiento de tomate, ya que lo incrementaron significativamente, comparado con las mallas negra y aluminada con 50 % de sombra, habitualmente manejadas por los productores.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

La problemática de la producción actual en México exige respuestas tecnológicas rápidas. El sistema de control climático es una herramienta puesta a disposición de los agricultores y hoy en día pueden experimentarlas y validarlas en su predio, que si bien ya se están implementando proyectos financiados por el gobierno, debido al desconocimiento de este método a veces tienden a fracasar en la producción y por ende a no obtener las ganancias prometedoras de este sistema. En este sentido se debe contribuir con el desarrollo tecnológico del medio de producción de hortalizas bajo invernadero o casa sombra con información suficiente.

Los plásticos en la agricultura se utilizan en invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas (casa sombra), en el control de plagas (plásticos foto selectivos), en el control de enfermedades (solarización), en el riego, se espera que en el futuro debido al calentamiento global será difícil producir en el campo, pero ya existen alternativas que permitirán la producción y abasto de alimentos.

El uso de las malla sombra están destinadas a facilitarnos la obtención de alimentos con diversas formas de cultivo, tanto para el campo (vivero, casa sombra o invernadero) cultivos en el mar y en ríos, se están utilizando mallas para producir peces, caracoles, etc.(acuicultura) siendo útiles para la extracción (pesca), en los bosques (silviculturas).

En la agricultura han tenido gran desarrollo a nivel mundial en estas ultimas décadas, en México en los últimos años se extiende el uso en invernaderos de mallas de sombreo y de pantallas de reflexión, para cubrir arboles frutales, evitando el daño por granizo, actualmente, la más importante aplicación es en la protección del cultivo contra condiciones climáticas extremas (tejidos antigranizo, mallas térmicas, contravientos) frente a agentes (anti aves, anti plagas) y mallas para el embalaje y transporte de plantas, dentro de sus ventajas destacan el aumento en rendimiento y calidad de las cosechas, mejor aprovechamiento de los fertilizantes y plaguicidas, protección de cultivos y la de mayor importancia en el uso eficiente del agua.

Las malla sombra son fabricadas con polietileno de alta densidad, existen propiedades ópticas que poseen como; transmisividad o transmitancia, efecto térmico, porcentaje de sombreo y tipo

de tejido, controlando y disminuyendo la radiación que llega al cultivo durante el día y conservando la energía durante la noche. Así cumplen la función de crear un microclima adecuado para las plantas con el objetivo de incrementar su rendimiento y principalmente su calidad, es por esta razón que el uso de este sistema ha tenido gran aceptación. Además de que las malla sombra captan uniformemente la radiación solar también reducen los cambios de temperatura lo que se traduce en el aumento en el rendimiento del cultivo, esta comprobado en investigaciones realizadas con diversos cultivos desde flores, hortalizas, níspero, duraznos y hasta manzanos que la difusión de la radiación fotosintéticamente activa se ve reflejada en el rendimiento de dichos cultivos.

La aplicación de las malla sombra de color puede ser implementada en todas las estaciones, regiones y poblaciones tomando en cuenta que México tiene una gran diversidad de climas. Estas deben tener alta resistencia a la ruptura lo que permitirá utilizar por largo tiempo este material. Poseen características importantes como el peso en Kg m^{-2} , las dimensiones (longitud y ancho), transmisividad, estas proporcionan a las plantas un micro clima apropiado para su crecimiento y se definen en el porcentaje de sombra, reduciendo la radiación que llega a estar en contacto con las plantas por lo que disminuye también la temperatura del invernadero y disminuyen las enfermedades con virus. Existen cubiertas media sombra tejidas con monofilamento, con entrecruzamiento de hilos que pueden ser usados como corta vientos. Presentan una amplia gama de tramados de sombra adaptadas a las diferentes necesidades, fabricadas para durar ya que posee aditivos anti UV, su duración supera los 10 años.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Actualmente se ha documentado información para una mayor comprensión del uso de las mallas de color y el grado de impacto que tienen estas en cuanto a la temperatura dentro y fuera del invernadero y el papel tan importante que tiene la radiación solar sobre el crecimiento y el rendimiento de los cultivos hortícolas. No obstante en las investigaciones realizadas hasta ahora no se ha conocido completamente o se define la magnitud de los efectos que la radiación, la temperatura y la humedad ejercen sobre el cultivo y que beneficios pueden aportar sobre el rendimiento; es así como la falta de claridad en este aspecto nos abre un área de oportunidad en investigación.

La aplicación de las malla sombras de color y las propiedades que brindan bajo nuevos sistemas de producción, como acolchados o invernaderos, dan la oportunidad para investigar y determinar la conveniencia de aplicar la técnica de invernaderos con malla sombra en dichos sistemas, así como los colores de malla sombra y acolchados más aptos para cada región en donde sean aplicados.

De acuerdo con la información y la investigación disponible acerca de las mallas sombra de color y considerando que México posee una gran diversidad de climas, es necesario enfatizar un área de oportunidad: divulgando la diversificación de colores que existen, especialmente por que estas tienen variabilidad en los cultivos de acuerdo a ciertas temperaturas del lugar donde sean empleadas.

Se ha demostrado en las últimas tres décadas, que casi todos los obstáculos son posibles de superar, desarrollando una tecnología de sombreado, protección y optimización de excelentes y probados resultados en el mundo entero. Utilizando estas mallas de color en diversos cultivos de todo tipo desde: hortalizas, flores hasta cítricos, manzanos, duraznos, nísperos y árboles frutales. Un productor adelantará la fecha de plantación, obteniendo cosechas de alta calidad, precozmente y además la inversión es menor en comparación con un invernadero, sin correr riesgo de granizo, eficiente uso del agua, uso de químicos, gastos de aplicación de tratamientos y lo más importante que ahorrará en mano de obra.

En mi opinión el uso de las malla sombras de color es factible y viable desde el punto de vista de costo, no necesita de mucha estructura y es de fácil instalación, pero lo mas importante de acuerdo a lo que se ha investigado es su facilidad de ser aplicadas a una diversidad de cultivos de toda índole, al utilizar este sistema se reduce el efecto negativo de las condiciones climáticas (radiación excesiva, lluvias o granizadas) sobre los cultivos, tomando en cuenta que el objetivo del uso de las malla sombra de color además de reducir la radiación solar, también el exceso de temperatura que se presenta en ciertas épocas del año. Considerando que ésta es producida por la radiación infrarroja. Las malla sombra de color debe ser un filtro selectivo que detenga gradualmente dicha radiación sin afectar la parte útil para nosotros que es la fotosíntesis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La aplicación de la malla sombras de color en la horticultura ha tenido un gran desarrollo en los últimos 30 años. Entre las ventajas de su utilización se mencionan la anticipación de la cosecha, los rendimientos y la mejora en la calidad del fruto producido bajo este sistema: el control parcial de malas hierbas, así mismo el uso eficiente del agua y el fertilizante.

Las mallas de diferentes colores dejan pasar diferentes longitudes de onda de radiación solar que las plantas pueden utilizar en diversos sistemas fisiológicos y durante el desarrollo. Bajo la malla de color perla la radiación solar se difunde en gran medida y cubre más partes de la planta, tales como la parte baja de los tallos y las hojas inferiores. Hay una mayor eficiencia fotosintética que promueve un crecimiento acelerado de plantas más pesadas, mejor calidad y rendimientos más altos. Otros sugieren que la calidad de la radiación reflejada por ciertos colores de malla sombra tiene un efecto directo y favorable sobre el crecimiento y rendimiento de la planta debido a la modificación de la radiación solar que reciben las plantas. Muchos investigadores han demostrado que el rendimiento y la calidad del tomate se pueden mejorar por los efectos de las malla sombras de color sobre la temperatura y la humedad dentro de la casa sombra con este sistema

Las malla sombras tienen un efecto positivo o negativo sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, dependiendo de las condiciones de las propiedades ópticas que brindan estas y de las estaciones en las cuales sean empleadas. La mayoría de los reportes sugieren que las malla sombras de colores tienen influencia en el crecimiento y rendimiento de la planta debido a la modificación de la radiación solar que estas proveen dentro de la casa sombra.

El uso del color como un descriptor puede ser suficiente para predecir como responderá la planta cuando se desarrolla en malla sombra de color. El manejo adecuado de la información respecto a las propiedades ópticas y térmicas de las malla sombra y su impacto en el microclima, contribuyen a una mejor predicción de la respuesta de los cultivos cuando se desarrollan en malla sombras de color.

RECOMENDACIONES

Cuando se pretenda o decida aplicar la técnica de malla sombra de color en el cultivo de tomate, para poder acertar el color adecuado de la malla a utilizar, se tendrá que considerar el área geográfica, temperatura y estación del año para el establecimiento del cultivo, debido a que la elección del color de malla sombra mas adecuado está en función de estos factores.

Es necesario recalcar que el uso de malla sombra de color, solamente proporcionan los efectos benéficos deseados sobre el rendimiento del cultivo, si esta práctica es considerada dentro de un plan de manejo agronómico, cuidando los detalles. Se recomienda realizar pequeñas pruebas de campo antes de introducir el color específico de malla sombra a nivel comercial.

Se recomienda evaluar, si el costo de la malla sombra se compensa con el impacto de los beneficios obtenidos, puesto que estos materiales varían en cuanto a precio en comparación de una malla sombra negra.

Puede considerarse la posibilidad de aplicación de las mallas sombras de color por más de un ciclo de producción, con las debidas reservas y consideraciones. Se promueve la siembra de un cultivo corto después de la estación principal, incrementando de esta manera el margen de utilidad obtenido del cultivo por concepto del doble cultivo.

El gran reto de modernizar la agricultura en México pasa ineludiblemente por el camino de la agroplasticultura y para ello recomiendo realizar una campaña de divulgación (sean conferencias, pláticas o campañas) de transferencia de tecnología a todos los niveles desde los agricultores hasta los profesionistas para preservar el campo mexicano y para heredar a las siguientes generaciones el amor a la agricultura que tanto nos ha dado.

NOMENCLATURA

‰: Por ciento

-: Menos

=: Igual

CO₂: Dioxido de carbono

nm: Nanometro

m²: Metro cuadrado

mm: milímetro

t: Tonelada

s: Segundo

g: Gramo

ha: Hectárea

cm: Centimetro

kg: Kilogramo

ppm: Partes por millón

≥: Mayor o igual que

n: Número

m: Metro

REFERENCIAS

- Alpi, A., Tognioni, F. 1991. Cultivo en invernadero. Actual orientación científica técnica. 3^{ra} ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343 p.
- Alvares, A.J., Valera, D.J., Molina, F.D. 2010. Los agrotexiles y el control climatico, Ensayo, Universidad de Almería. Pp 80.
- SAGARPA. 2009. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Versión 1.1. México, D.F. En CD.
- Anónimo. (2010). Los plásticos en la agricultura. Materiales de cubierta para invernaderos. (1^a parte). Fecha de consulta: 04/07/2010 disponible en: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos.htm.
- Arcidiacono, C., Cabrales, D.E., Leonardi, A., Mazzarella, R. 2006. Covering Materials to Improve Greenhouse Microclimate during Summer in Hot Climates. Acta Hort. 719: 247-254.
- Ayala, T.F., Osuna, O.J., Valenzuela, L.M. 2004. Mallas sombra de colores para mejorar el cultivo de tomate en invernadero. Facultad de Agronomía-UAS.
- Baudoin, W., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martinez, G.P.F., Monteir, O.A.A., Nisen, A., Verlodt, H., De Villele, O., Zabeltitz, V., Garnaud, J.C. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. In: Estudios FAO: Producción y protección vegetal. No. 90. Roma, Italia. 338 pp.
- Benavides-Mendoza, A.1999. Productividad, Sólidos Solubles y Redox de Extractos de Peciolos en Espinacas. Ensayo, Universidad Autonomía Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. Disponible en: <http://abenmen.com/a/espibrix.pdf>.

- Benavides-Mendoza, A. 1998. Agropásticos: Control Microambiental, Control Metabólico y Morfogénesis. Ensayo. Universidad Autonomía Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Bidwell, R.G.S. 1993. Fisiología vegetal. AGT Ed. México. pp 784.
- Bueno, A.J. 1984. Filmes de pvc usos agrícolas. Revista de plásticos modernos. Núm. 333. Marzo. España.
- Caraveo-López F.J., Boca-Del Castillo G.A., Tirado-Torres J.L., Sánchez-Del Castillo F.S. 1996. Cultivo hidropónico de jitomate empleando polvo de bonote de coco como sustrato, y su respuesta al amonio y potasio. Agrocienca. 30 (4): 495-500.
- Castilla, P.N. 2001. Manejo del cultivo intensivo con suelo, F. Nuez (Ed). El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. p 189-225.
- Castilla, P.N. 2007. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Mundi-prensa. Madrid, 462 pp.
- Cerny, A.T., Rajapkse, N.C., Ryu, O.Y. 1999. Recent development in photoselective greenhouse covers. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 75-80.
- Clifford, S.C., Runkle, E.S., Langton, F.A., Mead,A., Foster,S.A., Pearson, S.,Heins, R.D. 2004. Height control of poinsettia using photoselective filters. HortScience 39:383-387.
- Díaz-Infante, M.G. 1988. Fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de campo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. pp 107.

- De la Cruz J.T.D., Santamaría B.F., Wilson I. Avilés, B. 2007. Efecto del sombreado sobre el comportamiento de chile (*Capsicum annum*) en suelos pedregosos de Yucatán.
- Díaz, N.M. 2001. Tipos varietales. In: El cultivo del tomate. Nuez, F. (ed.). Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 93-129.
- Eitiel, E. 2009. Cultivo de pimientos para exportación. Ensayo. Madrid España
- Elorza, M. P., López, H. M., Hernández, F.A.D., Olmedo, P.H. G., Domínguez, B.C., Maruri, G.J.M. 2003. Effect of Tutor Type on Vanillin and Chlorophyll Contents in Vanilla Beans (*Vanilla planifolia* sp Andrews) in Tuxpan, Veracruz, México. Revista Científica UDO Agrícola, 7(1): 228-236.
- Fallik, E., Alkalai, T.S., Parselan Y., Aharon, Z., Elmann, A., Offir, Y., Matan, E., Yehezkel, H., Ratner, K., Zur, N., Shahak, Y. 2009. Can Colored Shade Nets Maintain Sweet Pepper Quality during Storage and Marketing. Acta Hort. 830:37-44.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Serie: Estudios FAO: Producción y protección vegetal. No. 90. Roma, Italia. pp 323.
- FAOSTAT. 2009. Superficie cultivada de tomate en México en el año 2007. Base de datos específica en línea. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2009] Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- Ganelevin, R. 2008. World-Wide Commercial Applications of Colored Shade Nets Technology (ChromatiNet®). Acta Hort. 770:199-204.
- Garner, L., Langton, F.A., Björkman, T. 1997. Commercial adaptations of mechanical stimulation for the control of transplant growth. Acta Hort. 435:219-230.

- Goldberg, M., Orden, S., Mascarini, L., Sierra, E. 1996. Transmisión Espectral en la Banda del PAR de las Cubiertas Plásticas para Invernaderos. *Revista de la Asociación Argentina de Horticultura* 15 (38): 51-54.
- Hussey, G. 1963. Growth and Development in the Young Tomato: I. The effect of temperature and light intensity on growth of the shoot apex and leaf primordia. *J. Exp. Bot.* 14 (2): 316-325.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., Hochmuth, G.J. 2000. 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. Tallahassee, Florida.* 184 pp.
- Kawabata, A.F., Lichty, J.S., Kobayashi, K.D., Sakai, W.S., 2006. Effects of photoselective shade cloths on potted *Dracaena dermensis* 'Janet Craig' and *Dracaena marginata* Colorama. *Hawaiian and Pacific Agric*, 14.
- Kleemann, M. 2004. Effect of Photo selective Plastics on the Quality of Lettuce. *Acta Hort.* 633: 173-179.
- Langton, F.A. 1998. Regulation of stem extension by temperature. p. 191-203 In: K.E. Cockshull, D. Grey, G.B. Seymour and B. Thomas (Editors). *Genetic and Environmental Manipulation of Horticultural Crops.* CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Márquez-Quiroz C. 2009. Producción de tomate saladette y cherry en macrotúneles con cubierta plástica fotoselectiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila. México. 72 pp.
- Martínez P.F., Arenas M., González A. y Aragón R. 2003. Calefacción de invernaderos a baja temperatura por energía geotérmica. *Actas de Horticultura, Volumen 2:* 863-873.

- Möller, M., J. Tanny., S. Cohen and M. Teitel. 2003. Micrometeorological characterisation in a greenhouse. *Acta Hort.* 614: 445-452.
- Montero, J.I., Antón, A., Hernández, J., Castilla, N. 2001. Direct and diffuse light transmisión of insect Prof. Screens and plastic films for cladding greenhouse. *Acta Horticulturae* 559:203-210
- Oren-Shamir, M., E.E. Gussakovsky., E. Shpiegel., A. Nissim-Levi., K. Ratner., R. Ovadia., Y.E. Giller and Y. Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76:353-361.
- Peralta, I.E., Knapp, S.K., Spooner, D.M. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Peru. *Systematic Botany* 30 (2): 424-434.
- Pérez, J., G. Hurtado., V. Aparicio., Q. Argueta y M.A. Larin. 2006. Guía técnica del cultivo del tomate. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. El Salvador. p 9 -12.
- Polysack (Plastic Industries, Ltd). 2009. Spectrum Management Solutions. [Consultado, junio 2009. http://www.polysack.com/index.php?page_id=46.
- Rajapakse N.C., Li, S. 2004. Exclusion of Far Red Light by Photosensitive Greenhouse Films Reduces Height of Vegetable Seedlings. *Acta Hort.* 631: 193-199.
- Rajapakse, N.C., Mc Mahon, M.J., Kelly, J.W. 1993. End of day far-red light reverses height reduction of chrysanthemum induced by CuSO₄ spectral filters. *Scientia Hort.* 53:249-259.

- Rajapakse, N.C., Young, R.E., Mc Mahon M. J., Oi, R. 1999. Plant height control by photosensitive filters: Current status and future prospects. Hort Technology 9:618-624.
- Rajapakse, N.C, Shahak Y. 2007. Light quality manipulation by horticulture industry. In: G. Whitelam and K. Halliday (eds.), Light and Plant Development, Blackwell Publishing, UK. pp.290-312.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.A. Palomo-Gil., Favela, C.E., Álvarez, R.V.P., Márquez, H.C., Moreno, R.A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Rev. Fitotec. Mex. 31 (3): 265-272.
- Romacho, I., O. Hita., T. Soriano., M.I. Morales., I. Escobar., E.M. Suarez-Rey., J. Hernández and N. Castilla. 2006. The Growth and Yield of Cherry Tomatoes in Net Covered Greenhouses. Acta Hort. 719: 529-534.
- Runkle, E.S. and R.D. Heins. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126:275-282.
- Sánchez C.F. 2001. Producción comercial de tomate en hidroponía bajo invernadero. In: VII Curso Internacional de Sistemas de Riego. Memorias. Volumen III. En: UACH-Departamento de Irrigación. pp III-287.
- Sánchez-del Castillo, F., E. del C. Moreno-Pérez y E.L. Cruz-Arellanes. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(1): 67-73.
- Serrano, C.Z. 1990. Técnicas de invernadero. pp. 644. PAO Suministros gráficos, S. A. Sevilla, España.

- Shahak, Y. 2008. Photo-Selective Netting for Improved Performance of Horticultural Crops. A Review of Ornamental and Vegetable Studies Carried Out in Israel. *Acta Hort.* 770: 161-168.
- Shahak, Y. 2009. Colored shade nets-a new agro-technology: Current research in ornamental. [Fecha de consulta: junio, 2009] <http://www.polysack.com/files/cf8ed7312fe796d76fb634a6fb0899ed.pdf>.
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal, E., Ganelevin, R. 2004. ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659:143-151.
- Shahak, Y., Gussakovsky E.E., Cohen Y., Lurie S., Stern R., Kfir S., Naor A., Atzmon I., Doron I., Greenblat-Avron Y. 2004b. ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Hort.* 636:609–616.
- Smith, H. 1975. Phytochrome and Photomorphogenesis. pp. 235. McGraw-Hill Company Limited, Maidenhead, UK.
- Tognoni, F. 2000. 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.
- Valera, M.D.L., Molina, A.F.D. 2009. Pantallas térmicas y mallas de sombreo. Ensayo. Universidad de Almería. Madrid España.
- Velásquez, O.J.D. 2007. Efectos de plásticos fotoselectivos en la producción de plántulas de melón (var. Top Mark). Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. pp 40.