

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



COLOR DE LA CUBIERTA PLÁSTICA SU RELACIÓN CON RADIACIÓN Y
EFECTO EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE
PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annum* L.) HIBRIDO CÓNsul TIPO
CALIFORNIA

Tesis

Que presenta GLORIA LILIANA CLAVERIA CIGARRERO

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila

Diciembre de 2017

COLOR DE LA CUBIERTA PLÁSTICA SU RELACIÓN CON RADIACIÓN Y EFECTO EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) HIBRIDO CONSUL TIPO CALIFORNIA

Tesis

Elaborada por GLORIA LILIANA CLAVERIA CIGARRERO como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del comité de asesoría.



Dr. Alejandro Zermeño González.
Asesor principal



Dr. Juan Plutarco Munguía López
Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor



Dr. Martín Cadena Zapata
Asesor



Dr. Homero Rodríguez Ramírez.
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Subdirectora de Posgrado

Saltillo, Coahuila

Diciembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido ser parte de esta noble institución y brindarme los conocimientos que ayudaron en mi formación. Al Dr. Alejandro Zermeño González por todo el tiempo y apoyo dado para la realización de este trabajo de tesis. Con su aporte en lo académico y sus enseñanzas de vida. A mis Asesores por su apoyo y disponibilidad en la revisión del presente trabajo. A los Doctores Juan Munguía López, Santos G. Campos Magaña, Martín Cadena Zapata y Homero Rodríguez Ramírez por sus contribuciones. A la empresa Grupo Alfa Tecnológico S.A de C.V. por permitirnos realizar la investigación y proporcionar todo lo necesario para su culminación. A Ing. Abel Salas Partida por su disposición en la realización del trabajo de campo. Al grupo de investigación por su apoyo en el trabajo de campo. A todo el pueblo trabajador que con sus contribuciones a la educación pública, me brindaron la oportunidad de poder seguir mis estudios en esta noble institución.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos los que, con su apoyo, moral, económico y de asesoría que lograron que finalizara esta etapa en mi vida. Dedicado a mis padres y hermanos por todo su apoyo durante mis estudios de Maestría. A todos mis amigos que han formado parte de mi trayectoria por esta Universidad. Al equipo de Investigación que apoyaron en la realización de esta investigación, asesorados por el Dr. Alejandro Zermeño González.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Lista de figuras.....	vii
Lista de cuadros.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	xi
Introducción.....	1
Revisión de literatura.....	4
Producción de cultivos hortícolas bajo invernaderos y macro túneles.....	4
Tipos de materiales de cubiertas plásticas y las clases o tipos de colores.....	4
Efecto del color de la cubierta plástica en las propiedades espectrales de la radiación que llega a las plantas bajo dichas cubiertas.....	5
Estudios previos sobre el efecto del color de la cubierta plástica en el contenido de clorofila y su relación con el rendimiento de diferentes cultivos hortícolas.....	7
Importancia económica y social del chile morrón a nivel global y para México.....	7
Cultivo del Pimiento Morrón.....	8
Taxonomía y morfología.....	8
Requerimientos edafoclimáticos.....	10
Temperatura apropiada.....	10

Humedad relativa optima.....	10
Luminosidad.....	10
Tipo de Suelo.....	10
Materiales y métodos.....	11
Ubicación del sitio de estudio y características de los túneles.....	11
Establecimiento del cultivo	12
Manejo agronómico del cultivo.....	12
Instrumentación y mediciones realizadas.....	13
Evaluación estadística.....	13
Resultados y discusión.....	15
Propiedades espectrales de las cubiertas.....	15
Radiación solar incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles.....	17
Radiación fotosintéticamente activa incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles.....	20
Contenido de clorofila en las hojas.....	23
Altura de planta y área foliar.....	24
Rendimiento de frutos (kg/túnel).....	26
Conclusiones.....	30
Referencias.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Radiación solar incidente y transmitida a través de los túneles de películas plásticas (policarbonato transparente, azul y rojo y polietileno de alta densidad), en diferentes longitudes de onda en condiciones de cielo despejado al mediodía solar en el sitio de estudio.....	16
Figura 2. Radiación solar total incidente (RSW) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado en los meses de crecimiento del cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.) híbrido cónsul tipo California.....	19
Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.) híbrido cónsul tipo California.....	22
Figura 4. Rendimiento de frutos de un cultivo de cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.) híbrido cónsul tipo California, bajo crecimiento en túneles de policarbonato de diferentes colores y polietileno de alta densidad.....	29

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en tres rangos de longitud de onda que incide, y se transmite a través de las diferentes cubiertas de los túneles ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).....	17
Cuadro 2. Distribución porcentual (con relación al total) de la PAR que incide y la que se transmite a través de las cubiertas de los túneles.....	17
Cuadro 3. Promedio diario mensual (MJ m^{-2}) de la radiación solar total sobre (campo abierto) y bajo cada cubierta (valores integrados de las 7:00 a las 19:00 h), durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de pimiento morrón....	20
Cuadro 4. Promedio diario mensual (mol m^{-2}) de la radiación fotosintéticamente activa incidente (campo abierto) y bajo cada cubierta (valores integrados de las 7:00 a las 19:00 h), durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de pimiento morrón.....	23
Cuadro 5. Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de un cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.) híbrido cónsul tipo California, bajo túneles con diferente color y material de cubierta.....	24
Cuadro 6. Desarrollo de la altura de plantas (cm) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.....	26
Cuadro 7. Desarrollo del área foliar de las plantas (cm^2) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores....	26

RESUMEN

COLOR DE LA CUBIERTA PLÁSTICA SU RELACIÓN CON RADIACIÓN Y EFECTO EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) HIBRIDO CÓNsul TIPO CALIFORNIA

POR

GLORIA LILIANA CLAVERIA CIGARRERO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ –ASESOR–

Saltillo, Coahuila

Diciembre de 2017

El color de la cubierta de los túneles e invernaderos, modifica las características espectrales de la radiación solar que incide sobre las plantas que se desarrollan dentro de estos. Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes colores de cubiertas de un túnel, en la magnitud y característica de la radiación que incide sobre un cultivo de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y su relación con contenido de clorofila, crecimiento y rendimiento del cultivo. El estudio se desarrolló en cuatro túneles de forma semicircular de 4 m de ancho, 2.5 m de alto y 12 m de longitud. La cubierta de tres túneles fue de láminas de policarbonato celular de color rojo, azul y translucido, el otro se cubrió con polietileno de alta densidad. Las características espectrales de la radiación solar que se transmitió en cada cubierta se determinaron con un espectro radiómetro, mientras que la magnitud de la radiación se midió con sensores quantum dentro de cada túnel. El efecto del color de las cubiertas en contenido de clorofila, crecimiento y rendimiento de las plantas se evaluó con un diseño completamente al azar con submuestreo. Para las diferencias en intensidad de radiación bajo cada cubierta de túnel se usó la prueba t-student. Debido a una menor incidencia de radiación fotosintéticamente activa y casi nula transmisividad de la radiación PAR de 400 a 550 nm, las plantas que se desarrollaron en el túnel con cubierta de policarbonato rojo, fueron de mayor altura y desarrollo foliar, pero con menor rendimiento de frutos. El rendimiento mayor de frutos se obtuvo en las plantas bajo el polietileno de alta densidad, que se debió a mayor difusividad de la PAR que tuvo una mejor distribución y penetración de la radiación en las capas de follaje de las plantas.

Palabras clave: Características espectrales, Radiación, Clorofila, PAR, Policarbonato celular.

ABSTRACT

PLASTIC COVER COLOR ITS RELATION WITH RADIATION AND AFFECT
ON GROWTH AND YIELD OF A BELL PEPPER CROP
(*CAPSICUM ANNUUM* L.) CONSUL HYBRYD CALIFORNIA TYPE

BY

GLORIA LILIANA CLAVERIA CIGARRERO

MASTER OF SCIENCE IN PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ –ADVISOR–

Saltillo, Coahuila

December 2017

The color of the tunnel and greenhouse cover, modify the spectral characteristics of the solar radiation incident over the plants that grow inside them. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different cover colors of a tunnel, in the magnitude and characteristics of the incident radiation over a Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) and its relation with chlorophyll content, crop growth and yield. The study was conducted in four semicircular tunnels of 4 m wide by 2.5 m height and 12 m long. The cover of three tunnels was of polycarbonate sheets of red, blue and translucent color, the other was covered with a high-density polyethylene film. The spectral characteristics of the solar radiation that was transmitted in each cover was obtained with a spectroradiometer, while the radiation magnitude was measured with a quantum sensor inside each tunnel. The cover color effect in chlorophyll content and plants growth and yield, was evaluated with a complete randomized design with subsampling. For the difference in the radiation magnitude inside each tunnel, the t-test was used. Due to a lower incidence of photosynthetically active radiation (PAR) and almost null transmissivity of PAR from 400 to 500 nm, the plants that grew in the tunnel with the red polycarbonate cover, were taller and with more foliage, but with less fruit yield. The highest fruit yield was obtained by the plants under the high-density polyethylene, that was due to a bigger PAR diffusivity, that had a better distribution and penetration of radiation in the plant foliage layers.

Keywords: spectral characteristic, Radiation, chlorophyll, PAR, polycarbonate sheets.

INTRODUCCIÓN

Las películas plásticas permiten la conversión de zonas desérticas de baja productividad en modernos desarrollos agrícolas, esto ha impulsado el crecimiento económico de estas regiones (Espí *et al.*, 2006). El uso de plásticos como cubiertas para invernaderos y túneles permiten el establecimiento de cultivos cuando las condiciones a campo abierto son desfavorables, con un mejor manejo de los cultivos lo que permite obtener mayores rendimientos, calidad y valor del producto (Orden *et al.*, 2000). Dentro de un invernadero o de un túnel, las propiedades e intensidad de la luz, temperatura y déficit de vapor del agua y la concentración de CO₂ son diferentes a la que se observan en el ambiente externo (Gruda, 2005; Cook and Calvin, 2005; Zhao and Carey, 2009).

La radiación solar es un factor importante la cual proporciona la energía fundamental para los organismos fotosintéticos, la calidad de luz tanto como la intensidad y longitud de onda afectan el metabolismo de la planta. La luz roja y azul impulsan mejor el metabolismo fotosintético (Darko *et al.*, 2014; Folta y Maruhnich, 2007), la mayor parte de la energía luminosa que impulsa la fotosíntesis en las plantas es absorbida por complejos de recolección de luz que contienen la clorofila a y b dentro de las membranas del tilacoide (Eggink y Hooper, *et al.*, 2000). La luz solar necesaria para la realización de la fotosíntesis en las plantas se encuentra entre las longitudes de onda entre 400-700 nm denominada como radiación fotosintéticamente activa (PAR). La luz actúa como portador de información sobre las condiciones ambientales del entorno. Los fotorreceptores (fitocromos, criptocromos y fototropinas) dentro de la planta detectan cambios en la luz y reaccionan con una respuesta fotomorfogénica, donde se determina la forma, elongación de tallo, expansión foliar, el color y la floración de las plantas (Espí *et al.*, 2006). La cantidad y calidad de la luz incidente, determinan la morfología de las plantas. Bajo condiciones de baja intensidad se incrementa la elongación de tallos y la expansión de las hojas, mientras que, en luz abundante, las plantas son más compactas (Cope y Bugbee, 2013; Runkle y Heins, 2001)

Li y Syvertsen, (2006) observaron que en cítricos como la naranja cv Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), el híbrido de toronja espinuda (Carr, C. *Sinensis* × *Poncirus trifoliado* L. Raf) y plántulas de mandarina Cleopatra (Cleo, *Citrus reticulata* Blanco) bajo mallas sombras de color azul tuvieron un mayor contenido de clorofila total, mientras que las que crecieron bajo las mallas de color rojo, tuvieron una menor concentración. He *et al.*, (2017) encontró en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) mayor biomasa de brotes en luz roja, pero no observaron diferencias entre contenidos de clorofila en los diferentes espectros de luz azul y rojo. En un estudio realizado en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) se comparó el efecto de la luz azul y roja en la fisiología de las plantas. Se encontró que las plántulas bajo el flujo de fotones color azul aumentaron el contenido de clorofila, la tasa fotosintética neta y la conductancia estomática con respecto a las plántulas bajo el color rojo (Hernandez y Kubota, 2016).

El cultivo de chile es originario del centro del continente americano, México es el centro de diversificación y domesticación de esta especie que tiene mayor distribución e importancia económica en el mundo, el chile verde es signo característico mexicano de la identidad nacional. Representa un papel central en la cultura alimenticia de México, también se relaciona con algunos efectos medicinales: aumenta el número de calorías quemadas durante la digestión, reduce los niveles de colesterol, es un anticoagulante y se le asocia con cualidades antioxidantes (SIAP 2010; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

El cultivo es importante por el valor que aporta a la producción agrícola de las regiones involucradas, ya que genera ingresos competitivos para los productores. La población dedicada a este cultivo es alrededor de 12 mil productores que generan 30 millones de jornales al año. La creación de empleos es reflejo de un impacto social positivo (SAGARPA 2015). Con relación a la exportación, los chiles y pimientos se ubican en el quinto lugar dentro de los 20 principales productos que comercializa el país a nivel internacional. El valor de las exportaciones de chiles y pimientos alcanzó en el periodo enero–agosto de 2016 un aumento en términos anuales de 31.6 por ciento, uno de los crecimientos más destacados de este grupo (Caro-Encalada *et al.*, 2014).

La tasa de fotosíntesis y el desarrollo de las plantas, está relacionado con la intensidad y características de la radiación que incide sobre el dosel de la vegetación. En las plantas que crecen dentro de un invernadero, el color de la cubierta plástica afecta la intensidad y propiedades espectrales de la radiación, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes colores de la cubierta de un túnel en la magnitud y característica de la radiación que incide sobre un cultivo de chile morrón y su relación con el contenido de clorofila, crecimiento y rendimiento de un cultivo de chile morrón (*Capsicum annuum* L.) variedad cónsul tipo california

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción de cultivos hortícolas bajo invernaderos y macro túneles

Las películas plásticas permiten la conversión de zonas desérticas de baja productividad en modernos desarrollos agrícolas, esto ha impulsado el crecimiento económico de estas regiones (Espí *et al.*, 2006). El uso de plásticos como cubiertas para invernaderos y túneles permiten el establecimiento de cultivos cuando las condiciones a campo abierto son desfavorables, con un mejor manejo de los cultivos lo que permite obtener mayores rendimientos, calidad y valor del producto (Orden *et al.*, 2000). Dentro de un invernadero o de un túnel, las propiedades e intensidad de la luz, temperatura y déficit vapor del agua y la concentración de CO₂ son diferentes a la que se observan en el ambiente externo (Gruda, 2005; Cook and Calvin, 2005; Zhao and Carey, 2009).

Tipos de materiales de cubiertas plásticas y las clases o tipos de colores

Las cubiertas plásticas para invernaderos y túneles más utilizadas se clasifican en películas flexibles, placas rígidas y mallas. De estas, las películas son las más utilizadas (Díaz *et al.*, 2001). Esto debido a su menor precio, fácil colocación, además de tener una variedad más amplia de propiedades como durabilidad, propiedades ópticas (radiación ultravioleta (UV), espectro visible (PAR), infrarrojo cercano e infrarrojo lejano), y el efecto anti-goteo. Los últimos desarrollos incluyen el bloqueo a la radiación UV, y cercana al infrarrojo y películas ultra térmicas (Barquero, 2010; Espí *et al.*, 2006).

El polietileno es un polímero de etileno (C₂H₄), existen dos tipos según la forma de fabricación: polietileno de baja densidad (denominado normal) y polietileno de alta densidad (denominado lineal). El primero se fabrica por polimerización a temperatura y presión altas (extrusión). El polietileno de alta densidad se fabrica con menor temperatura y presión, por lo consiguiente es más rígido. Son empleados para acolchado y túneles por su capacidad de alargamiento y mayor resistencia (Serrano, 2005).

La transparencia del polietileno está comprendida entre 70 y 85 %, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe entre un 15 a 30 % menos de luz que la que se recibe en el exterior. Es el material plástico que menos densidad tiene, por lo tanto, el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de espesor. Las películas difusoras aumentan la proporción de radiación difusa en el interior del invernadero y tienen un aspecto blanquecino opalino (Castilla, 2007).

El policarbonato (Pc), es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto y la intemperie. La presentación de este material es en placas alveolares, que consta de 2 ó 3 paredes paralelas unidades transversalmente por paredes del mismo material. El espesor de las placas puede ser de 4 a 16 mm, con revestimiento para protección de los rayos ultra violeta (Espí *et al.*, 2006)

Efecto del color de la cubierta plástica en las propiedades espectrales de la radiación que llega a las plantas bajo dichas cubiertas

La luz solar es un factor importante la cual proporciona la energía fundamental para los organismos fotosintéticos, la calidad de luz tanto como la intensidad y longitud de onda afectan el metabolismo de la planta. La luz roja y azul impulsan mejor el metabolismo fotosintético (Darko *et al.*, 2014; Folta y Maruhnich, 2007), la mayor parte de la energía luminosa que impulsa la fotosíntesis en las plantas es absorbida por complejos de recolección de luz que contienen la clorofila a y b dentro de las membranas del tilacoide (Eggink y Hooper, 2000). La luz solar necesaria para la realización de la fotosíntesis en las plantas se encuentra entre las longitudes de onda entre 400-700 nm denominada como radiación fotosintéticamente activa (PAR). La luz actúa como portador de información sobre las condiciones ambientales del entorno. Los fotorreceptores (fitocromos, criptocromos y fototropinas) dentro de la planta detectan cambios en la luz y reaccionan con una respuesta fotomorfogénica, donde se determina la forma, elongación de tallo, expansión foliar, el color y la floración de las plantas (Espí *et al.*, 2006). Los fitocromos desempeñan un papel fundamental en el control de muchos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas en respuestas de

luz, son fotoreceptores de la luz roja y rojo lejano. Ejercen su función como reguladores transcripcionales (Wang y Wang, 2014). La calidad de PAR recibida por las plantas desempeña un papel importante para su desarrollo de estas (Krizek, 2004). Las plantas cultivadas bajo la longitud de onda 600 a 700 nm que corresponde a la luz roja promueven crecimiento de extensión y la floración. Por el contrario bajo el espectro 400 a 500 correspondiente a la luz azul inhibe el crecimiento de la extensión (Runkle y Heins, 2001).

La limitación de luz incidente aumenta la elongación del vástago y la expansión de la hoja, mientras que en abundante luz, las plantas son más compactas. La cantidad y calidad de la luz juega un papel importante puesto que determina la morfología de las plantas (Cope y Bugbee 2013). Runkle y Heins, (2001) realizaron un estudio en especies de *Campanula carpatica* Jacq., *Coreopsi x grandiflora* Hogg ex Sweet, *Pisum sativum* L., y *Viola x wittrockiana* Gams donde señalan que el desarrollo de estas especies bajo el espectro azul impide su extensión del crecimiento, por lo contrario, bajo el espectro rojo promovió el crecimiento de extensión, pero retarda la iniciación de la floración.

En un estudio realizado con mallas sombra fotoselectivas de color rojo, amarillo, azul, gris y perlas, se encontró que las mallas de color perla y roja aumentaron la productividad de cultivos de hojas verdes, pimientos y ornamentales, en comparación con la malla sombra de color negro (Shahak et al., 2008). Antonius y Kasperbauer (2002) encontraron un mayor contenido de β -caroteno y ácido ascórbico en los tubérculos de plantas de zanahoria (*Daucus carota* L.), que crecieron bajo cubiertas de color blanco y amarillo, que el observado bajo cubiertas de otros colores.

Alam *et al.*, (2007) investigaron el efecto de las cualidades de luz proporcionadas por papel de filtro de color azul, rojo y control (sin papel filtro) en un cultivo de cebolla. Bajo el filtro color rojo se produjo mayor contenido de materia seca total en comparación con el filtro azul y el control (sin filtro). El contenido total de clorofila en las hojas bajo el espectro rojo fue el más alto, seguido del azul y el más bajo contenido lo obtuvo el tratamiento control.

Estudios previos sobre el efecto del color de la cubierta plástica en el contenido de clorofila y su relación con el rendimiento de diferentes cultivos hortícolas

La intensidad de luz incidente que le llega a las plantas es un factor importante para su desarrollo. En un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Parris Island) bajo diferentes porcentajes de intensidad de radiación fotosintéticamente activa (26, 47, 73 y 100% de intensidad de luz incidente), resultó una menor producción de biomasa con deficiencia de luz, pero con efectos positivos en el contenido de clorofila en las hojas (Kosma et al., 2013). Beneragama y Goto, (2010) en un cultivo de *Euglena gracilis* cultivada bajo tres intensidades de luz: 28, 84 y 210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, encontraron algunas respuestas tolerantes a la sombra típicas, tales como disminución de la velocidad de crecimiento, punto de saturación de luz, punto de compensación de luz y tasa de respiración oscura, y aumento del contenido de clorofila

Li y Syvertsen, (2006) observaron que los árboles jóvenes de cítricos y plántulas bajo mallas sombras de color azul tuvieron un mayor contenido de clorofila total, mientras que las que crecieron bajo las mallas de color rojo, tuvieron una menor concentración. He et al., (2017) encontró en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) mayor biomasa de brotes en luz roja, pero no observaron diferencias entre contenidos de clorofila en los diferentes espectros de luz azul y rojo. En un estudio realizado en plántulas de pepino se comparó el efecto de la luz azul y roja en la fisiología de las plantas. Se encontró que las plántulas bajo el flujo de fotones color azul aumentaron el contenido de clorofila por área foliar, la tasa fotosintética neta y la conductancia estomática con respecto a las plántulas bajo el color rojo (Hernandez y Kubota, 2016).

Importancia económica y social del pimiento morrón a nivel global y para México

El cultivo de chile es originario del centro del continente americano, México es el centro de diversificación y domesticación de esta especie que tiene mayor distribución e importancia económica en el mundo, el chile verde es signo

característico mexicano de la identidad nacional. Representa un papel central en la cultura alimenticia de México, también se relaciona con algunos efectos medicinales: aumenta el número de calorías quemadas durante la digestión, reduce los niveles de colesterol, es un anticoagulante y se le asocia con cualidades antioxidantes (SIAP 2010; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

China es el líder mundial en producción de chile verde, México se encuentra en el segundo lugar a nivel mundial en producción alcanzando las 2.3 millones de toneladas, con un valor que superó los 22 mil 500 millones de pesos en 2016, donde sus principales destinos de exportación son Estados Unidos, Canadá y España, entre otros (Atlas agroalimentario, 2016). Sus principales destinos de exportación son Estados Unidos, Canadá y España, entre otros (FAOSTAT, 2014).

El cultivo es importante por el valor que aporta a la producción agrícola de las regiones involucradas, ya que genera ingresos competitivos para los productores. La población dedicada a este cultivo es alrededor de 12 mil productores que generan 30 millones de jornales al año. La creación de empleos es reflejo de un impacto social positivo (SAGARPA, 2015). Con relación a la exportación, los chiles y pimientos se ubican en el quinto lugar dentro de los 20 principales productos que comercializa el país a nivel internacional. El valor de las exportaciones de chiles y pimientos alcanzó en el periodo enero–agosto de 2016 un aumento en términos anuales de 31.6 por ciento, uno de los crecimientos más destacados de este grupo (Caro-Encalada *et al.*, 2014).

Cultivo del pimiento Morrón

Taxonomía y morfología

Familia: Solanaceae

Especie: *Capsicum annum* L.

Planta: herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable desde 0.5 m (cultivo a campo abierto) y más de 2m (híbridos en ambiente protegido).

Sistema radicular: pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Tallo principal: de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continua ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente).

Hoja: entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.

Flor: las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%.

Fruto: baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm.

Requerimientos edafoclimáticos

Temperatura apropiada

La temperatura juega un papel importante para el desarrollo del cultivo. La temperatura ideal para que alcancen un alto % de germinación se encuentra entre 20 y 30 °C. Durante el periodo de crecimiento del cultivo, es conveniente que la temperatura no sea inferior a 18°C. Para tener una mayor cosecha, se estima que requiere una temperatura media mensual comprendida entre 20-25 °C y 16-18 °C de noche. Con temperaturas menores a 15 °C, la planta retrasa su crecimiento. La caída de flores se ve afectada a temperaturas inferiores a los 10 °C y mayores a 35 °C, así de esta manera se puede ver afectado el potencial productivo.

Humedad relativa optima

La humedad relativa o del ambiente óptima oscila entre el 50 % y el 70 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas causadas por hongos y dificultan la fecundación; la coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajado.

Luminosidad

El cultivo es exigente en cuanto a luminosidad en todo el ciclo del cultivo, principalmente en la etapa de floración para lograr un buen cuaje de fruto. Si la intensidad de la radiación solar es demasiado alta, se puede producir rajadura de frutos, golpe de sol y coloración irregular en la madurez.

Tipo de Suelo

Requieren suelos franco-arenosos con altos porcentajes de materia orgánica, buen drenaje y aireación, con pH ligeramente ácido a neutro (5.8 a 7.0). El cultivo presenta baja tolerancia a la salinidad del suelo y del agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio de estudio y características de los túneles

El estudio se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2016, en la propiedad rancho las varas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León. Las coordenadas geográficas de la localidad son: 26° 30' 3" latitud Norte, 100° 8' 36" longitud Oeste a una elevación de 292 msnm. La temperatura media anual es 28 °C, los vientos dominantes son del Noreste y el Este, y precipitación promedio anual de 700 mm. El clima de la región es seco estepario (INAFED, 2017).

Para el desarrollo del experimento, se establecieron cuatro túneles de forma ovalada de 4 m de ancho, 2.5 m de alto y 12 m de longitud con una separación entre túneles de 6 m. Los túneles se orientaron Norte-Sur con la puerta de entrada en el lado Sur. La cubierta de tres de estos túneles fue de láminas de policarbonato celular rojo, azul y translúcido. Estas láminas son de protección contra la radiación ultravioleta (UV), de un espesor de 6 mm, con resistentes al impacto y la intemperie. El otro túnel se cubrió con polietileno de alta densidad (180 micras de espesor).

El policarbonato es un polímero termoplástico que tiene buena resistencia al impacto, con ligera flexibilidad. La presentación de este material es en láminas alveolares, que consisten de dos o tres paredes paralelas unidas transversalmente por paredes del mismo material. Las placas suelen ser 4 a 16 milímetros de espesor. El espacio de aire en los alvéolos le proporciona la propiedad de aislante térmico, para reducir el enfriamiento nocturno.

El polietileno es un plástico flexible muy utilizado actualmente en la producción de cultivos hortícolas, tiene un poder absorbente de 5 al 30 % en los espesores utilizados para la agricultura. Este tipo de cubierta tiene aspecto blanquecino, opalino y su poder difuso se cuantifica por su turbidez. Un filme se considera difusor cuando su turbidez es igual o superior al 30 % para espesores entre 70 y 150 micras y al 35% para espesores iguales o superiores a 150 micras (Castilla, 2007).

Establecimiento del cultivo

Para el estudio se utilizó un cultivo de chile morrón (*Capsicum annuum L.*) variedad cónsul tipo California, color amarillo-limón en maduración. Es una planta de entrenudos largos, que conserva su color a pesar de alta luminosidad y calor. La duración del ciclo del cultivo es de 120 días.

La producción de plántula se realizó en invernadero, utilizando charolas de unicel con 200 cavidades previamente desinfectadas, en donde se colocaron las semillas con sustrato de peat-moss. El trasplante se realizó seis semanas después de la siembra (29 de abril de 2016), cuando las plántulas tuvieron una altura de 15 cm y tres hojas verdaderas. En cada túnel se establecieron dos camas de 70 cm de ancho separadas 1.2 m. La distribución de las plantas fue en tresbolillo a una distancia de 30 cm entre plantas y 20 cm entre líneas, teniendo una densidad 10 plantas por m².

Manejo agronómico del cultivo

Para tener plantas más equilibradas, vigorosas y aireadas, estas se podaron a tres tallos. El tutoreo se realizó por espalderas usando hilo de rafia. Se eliminaron los frutos dañados y deformados con el fin de obtener una producción uniforme y mayor rendimiento.

El riego se aplicó con goteo con dos cintas por cama con emisores a 30 cm y un gasto de 2.4 LPH con un tiempo de riego de 15 min diarios, que correspondió a una lámina diaria promedio de 5.7 mm. Durante el ciclo del cultivo se fertilizó con 1.43 kg. de N, 0.535 kg. P₂O₅ y 1.93 kg. de K₂O, distribuido en aplicaciones cada 15 días. Como acción preventiva para controlar la incidencia de hongos se aplicó sulfato de cobre pentahidratado (1.5 L/ha) a los 15 y 45 días después de trasplante.

El control fitosanitario se realizó aplicando una dosis de 400 g·ha⁻¹ de metomilo y dos de tiametoxam+clorantraniliprol a 500 ml·ha⁻¹ a una frecuencia de 15 días para el control de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius). La pudrición apical se controló con una aplicación de carbendazim a una dosis de 0.5 mL/L.

Instrumentación y mediciones realizadas

Al centro de cada túnel, en un poste fijo a una altura de 70 cm sobre la superficie del suelo se instaló un Silicon Pyranometer (modelo LI200x, LI-COR, Inc.) y un Quantum sensor (apoge instruments, Logan, Utah, EE,UU) para medir la radiación solar y la fotosintéticamente activa (PAR) respectivamente, transmitida en cada cubierta. También se midió la temperatura del aire con un sensor (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA). Fuera de los túneles se realizaron las mismas mediciones. Todos los sensores mencionados fueron conectados a dos datalogger CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA). Todas las mediciones se realizaron a una frecuencia de 1 segundo y se generaron promedios continuos de 30 min a través del ciclo de crecimiento del cultivo (30 de abril al 30 de septiembre, 2016).

A una frecuencia de 15 días entre las 12:00 y las 14:00 h, se midió el contenido relativo de clorofila de las hojas con un medidor portátil (SPAD 502 Plus, Minolta), la reflectancia de las hojas a la luz blanca (300 a 700 nm) usando un espectroradiómetro (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, USA). Estas mediciones se realizaron en tres hojas por planta en el centro de cada túnel con las mismas condiciones de edad, y turgencia. A la misma frecuencia, también se midió la longitud y diámetro del tallo y el área de las hojas, que se obtuvo multiplicando el largo y ancho mayor por el factor 0.56 (Este factor se obtuvo con la relación entre el producto del ancho mayor x largo de la hoja y el área de las hojas obtenida con in medidor digital de área foliar). Durante la cosecha, se realizaron seis cortes y se obtuvo el rendimiento de total de frutos de cada túnel.

Evaluación estadística

Las diferencias en la radiación solar (R_{sw}) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) transmitida en cada cubierta de los túneles (promedios de 30 min) a través del ciclo de desarrollo del cultivo, así como también las diferencias en la reflectancia de las hojas y diferencias en la temperatura del aire dentro de cada túnel, se compararon usando la prueba de t-student ($\alpha \leq 0.05$) para poblaciones

normales o la no paramétrica de Wilcoxon ($\alpha \leq 0.05$) para condiciones de no normalidad.

Para la evaluación de los parámetros de contenido de clorofila de las hojas, y crecimiento de las plantas se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con sub muestreo con cinco tratamientos (cuatro colores de cubiertas de los túneles y a campo abierto), tres repeticiones y tres muestreos por repetición. La evaluación estadística del rendimiento de frutos entre los diferentes túneles y a campo abierto, se realizó con la prueba de t-student ($\alpha \leq 0.05$) o la de Wicoxon ($\alpha \leq 0.05$). en función de la normalidad de los datos, donde el tamaño de las poblaciones fueron los cinco cortes realizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades espectrales de las cubiertas

En la Figura 1 se muestra la transmitancia de las láminas de policarbonato de diferentes colores y el polietileno de alta densidad, a la radiación solar en el ancho de banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR)(400 a 700 nm). Para todo el espectro de la PAR, el policarbonato translucido tuvo mayor transmitancia y fue aproximadamente uniforme en todo el rango de longitud de onda. El polietileno de alta densidad tuvo un patrón de transmitancia de la radiación PAR similar al policarbonato translucido, pero de menor magnitud. El policarbonato azul mostró alta transmitancia de 400 a 500 nm, decrece de 500 a 600 nm y aumenta nuevamente de 600 a 700 nm. El policarbonato rojo no transmite radiación de 400 a 550 nm, pero mostró gran transmitancia de 600 a 700 nm. La nula transmitancia de la radiación PAR de 400 a 500 nm de las láminas de policarbonato rojo puede tener un fuerte impacto en el desarrollo y rendimiento de las plantas, ya que el límite inferior de máxima absorción de radiación PAR de la clorofila a y b de la mayoría de las plantas se ubica entre 400 y 500 nm de longitud de onda (Hogewoning *et al.*, 2012)

En el Cuadro 1 se muestra la distribución de la PAR en las bandas de 400 a 500, 500 a 600 y 600 a 700 nm que incide, y la que se transmite en cada cubierta de los túneles. Es muy notorio que, para el policarbonato rojo en la banda de 400 a 500 nm, de $601.81 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que inciden sobre la cubierta, solo $3.435 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se transmiten, que corresponde al 0.57%, nuevamente, este gran déficit de PAR en esta banda puede tener un fuerte impacto en el desarrollo y rendimiento de las plantas. Estudios realizados por López-Marín *et al.* (2012), mostraron que la tasa de fotosíntesis de plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.), decreció de 22.4 a $8.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (39.29%) cuando la tasa de la PAR incidente se redujo en un 60%. Por el contrario, de 600 a 700 nm de longitud de onda en esta misma cubierta se transmiten $718.10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de $841.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que inciden, que corresponde al 85.36 %. y corresponde a la mayor transmisividad de las cuatro cubiertas. El cuadro 2 presenta la relación porcentual en cada banda (con

relación al total) de la PAR que incide y que se transmite en cada cubierta. Nótese que, para el policarbonato rojo, del total que se transmite el 91% es en la banda de 600 a 700 nm y solo el 0.44 % de 400 a 500 nm. Las otras cubiertas tienen un porcentaje de distribución más uniforme. En todas, el porcentaje mayor de transmisividad ocurre en la banda de 600 a 700 nm y el menor en la de 400 a 500 nm (Cuadro 2).

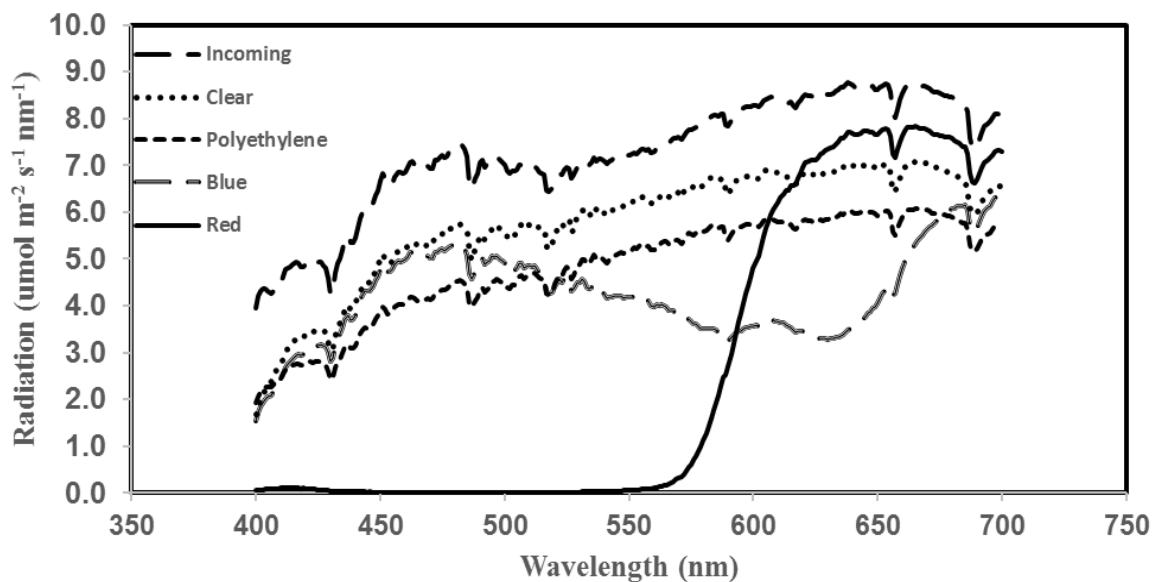


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa incidente y transmitida a través de las cubiertas de los túneles (láminas de policarbonato de color rojo, azul, translúcido, y polietileno de alta densidad), a diferentes longitudes de onda, bajo condiciones de cielo despejado.

Cuadro 1. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en tres rangos de longitud de onda que incidente, y se transmite a través de las diferentes cubiertas de los túneles ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Longitud de onda (nm)	Incidente	Policarbonato translúcido	Polietileno alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
400 to 500	601.81	439.07	353.05	407.96	3.435
500 to 600	734.17	613.98	511.76	411.39	67.47
600 to 700	841.24	679.20	582.50	452.51	718.10
Total	2177.22	1732.25	1447.31	1271.86	789.01

Cuadro 2. Distribución porcentual por rango de longitud de onda (con relación al total) de la PAR que incide y la que se transmite a través de las cubiertas de los túneles.

Longitud de onda (nm)	Incidente (%)	Policarbonato translúcido (%)	Polietileno alta densidad (%)	Policarbonato azul (%)	Policarbonato rojo (%)
400 to 500	27.64	25.34	24.39	32.08	0.44
500 to 600	33.72	35.44	35.36	32.35	8.55
600 to 700	38.64	39.21	40.25	35.58	91.01

Radiación solar incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo pimiento morrón (30 de abril al 30 de septiembre de 2016), las plantas que crecieron bajo cada cubierta recibieron diferentes intensidades de radiación, debido a la diferencia en las propiedades espectrales de los diferentes materiales y colores de las cubiertas de los túneles (Figura 1). En la Figura 2, se muestra que las plantas que crecieron en el túnel con la cubierta de policarbonato de color rojo recibieron menos radiación solar (R_{sw}) a las diferentes horas del día, que las plantas en los túneles con las otras cubiertas, esto se debió a la menor transmisividad del policarbonato rojo, en el rango de 400 a 550 nm (Figura 1). Mientras que las plantas bajo el policarbonato translúcido (con mayor transmitancia) recibieron mayor radiación solar (Figura 2). La mayor intensidad de radiación se observó entre las 12:00 y las 14:00 h del día.

La cantidad de radiación solar promedio diaria mensual (valores diarios integrados de las 7:00 a las 19:00 h) recibida por las plantas que crecieron dentro de los túneles durante el ciclo de crecimiento (30 de abril al 30 de septiembre 2016) se muestra en el Cuadro 3. Los meses con mayor incidencia de radiación fueron junio y julio. Las plantas bajo el túnel con cubierta de policarbonato de color rojo recibieron menos radiación solar, mientras que las plantas en los túneles con cubierta de polietileno de alta densidad y policarbonato de color azul recibieron valores muy similares de radiación solar a lo largo del día (Figura 2) y a través del ciclo de desarrollo del cultivo (Cuadro 3), mientras que las plantas que crecieron bajo la cubierta de policarbonato translúcido recibieron la mayor cantidad de radiación solar durante las horas del día y a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Figura 2, Cuadro 3). El valor promedio diario del porcentaje de la radiación solar transmitida en cada cubierta, durante el ciclo de crecimiento del cultivo fue 82.94 %, 69.52%, 68.99% y 62.16%, para el policarbonato translúcido, polietileno de alta densidad, policarbonato azul y policarbonato rojo respectivamente. Los valores diferentes de radiación solar recibida por las plantas bajo los túneles de diferentes materiales y colores pueden tener efectos significativos en el desarrollo y rendimiento de las plantas. Principalmente a las plantas en el túnel con policarbonato de color rojo.

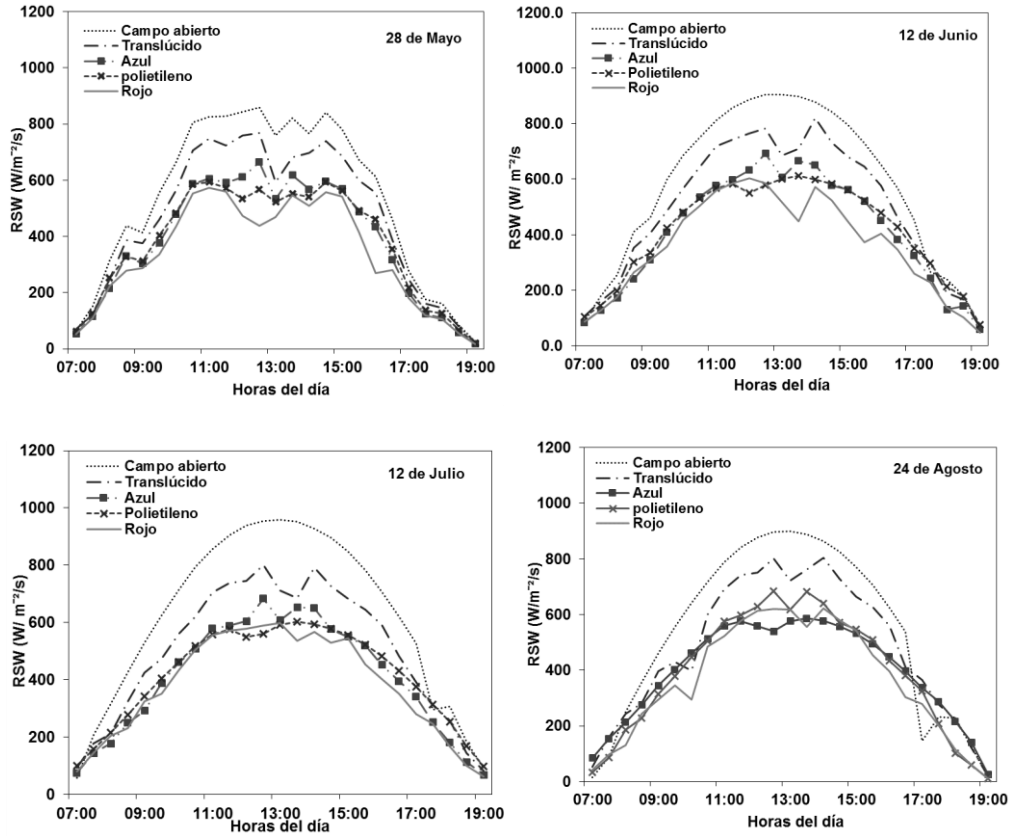


Figura 2. Radiación solar total incidente (RSW) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato translúcido, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado en los meses de crecimiento del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) variedad cónsul tipo California.

Cuadro 3. Promedio diario mensual (MJ m^{-2}) de la radiación solar total sobre (campo abierto) y bajo cada cubierta (valores integrados de las 7:00 a las 19:00 h), durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de pimiento morrón.

Radiación total incidente (MJ m^{-2}) promedio mensual diario					
Mes	Campo abierto	Policarbonato translúcido	Polietileno alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
Mayo	17.42	15.08	12.39	12.54	11.33
Junio	23.37	19.92	16.66	16.47	14.20
Julio	24.38	19.99	16.57	16.47	14.59
Agosto	20.12	16.94	14.09	14.10	12.90
Sept	18.34	14.07	12.32	11.90	11.19

Radiación fotosintéticamente activa incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles

A diferencia de lo observado en la radiación solar total que se transmite a través de las diversas cubiertas, en la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la diferencia en la radiación que se transmite en cada cubierta de los túneles fue mucho mayor (Figura 3). Nótese que, a las diferentes horas del día, las plantas que crecieron bajo el túnel con la cubierta de policarbonato translúcido recibieron mayor PAR. Las plantas bajo el policarbonato de color azul y el polietileno de alta densidad tuvieron aproximadamente la misma incidencia de PAR, mientras que las plantas bajo el policarbonato rojo recibieron una radiación mucho menor (Figura 3). Estas marcadas diferencias de la PAR recibidas en las plantas bajo los diferentes túneles, puede tener efectos muy marcados en el desarrollo y rendimiento de las plantas. Además, la nula o muy baja incidencia de radiación PAR en el rango de longitud de onda de 400 a 500 nm y de 500 a 600 nm que se transmite en el policarbonato de color rojo (Cuadro 2) puede tener un fuerte impacto en el desarrollo y rendimiento de las plantas.

A través del ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas en el túnel con cubierta de policarbonato translúcido, también recibieron la mayor cantidad de PAR (Cuadro 4). Bajo la cubierta de policarbonato de color azul y la de polietileno las

plantas recibieron aproximadamente la misma PAR, y bajo el policarbonato de color rojo la PAR que se transmitió fue mucho menor (Cuadro 4). El valor promedio diario de la PAR incidente que se transmitió en cada cubierta, durante el ciclo de crecimiento del cultivo fue 79.22%, 53.40%, 49.52% y 23.35%, para el policarbonato translúcido, polietileno de alta densidad, policarbonato azul y policarbonato rojo respectivamente. Estudios realizados por Ilić *et al.* (2017) mostraron que en una malla sombra de color Azul, se transmitió el 46.5% de la PAR incidente sobre la malla, mientras que para una malla roja fue 42.1%. Estos valores son diferentes a los encontrados en este estudio, ya que las propiedades espectrales de las láminas de policarbonato son diferentes a las de la malla sombra. Jin *et al.*(2012) reportaron que la transmisividad a la radiación fotosintéticamente activa de una película de polietileno translúcido fue mayor (83 %) a la observada en el polietileno de amarillo (77 %), seguido por el rojo (75 %) y azul (49 %).

Los valores diferentes PAR recibida por las plantas bajo los túneles de diferentes materiales y colores pueden afectar la tasa de desarrollo y el rendimiento de las plantas. Principalmente las plantas en el túnel con policarbonato de color rojo. Al respecto, Runkle y Heins (2006) mencionan que, la distribución de la radiación del espectro visible influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, que puede afectar la longitud y espesor del tallo, número de entrenudos, área foliar, acumulación de materia seca, tiempo de floración, número de flores, y consecuentemente la producción. Ayala-Tafoya *et al.* (2015) observaron que las plantas de chile morrón (cv. Guardian) desarrolladas bajo malla sombra de diferentes colores (verde, rojo, azul, beige y negro) fueron de 23.1% hasta 33% más altas que las plantas en condiciones de campo abierto, debido a una menor incidencia de radiación bajo las mallas.

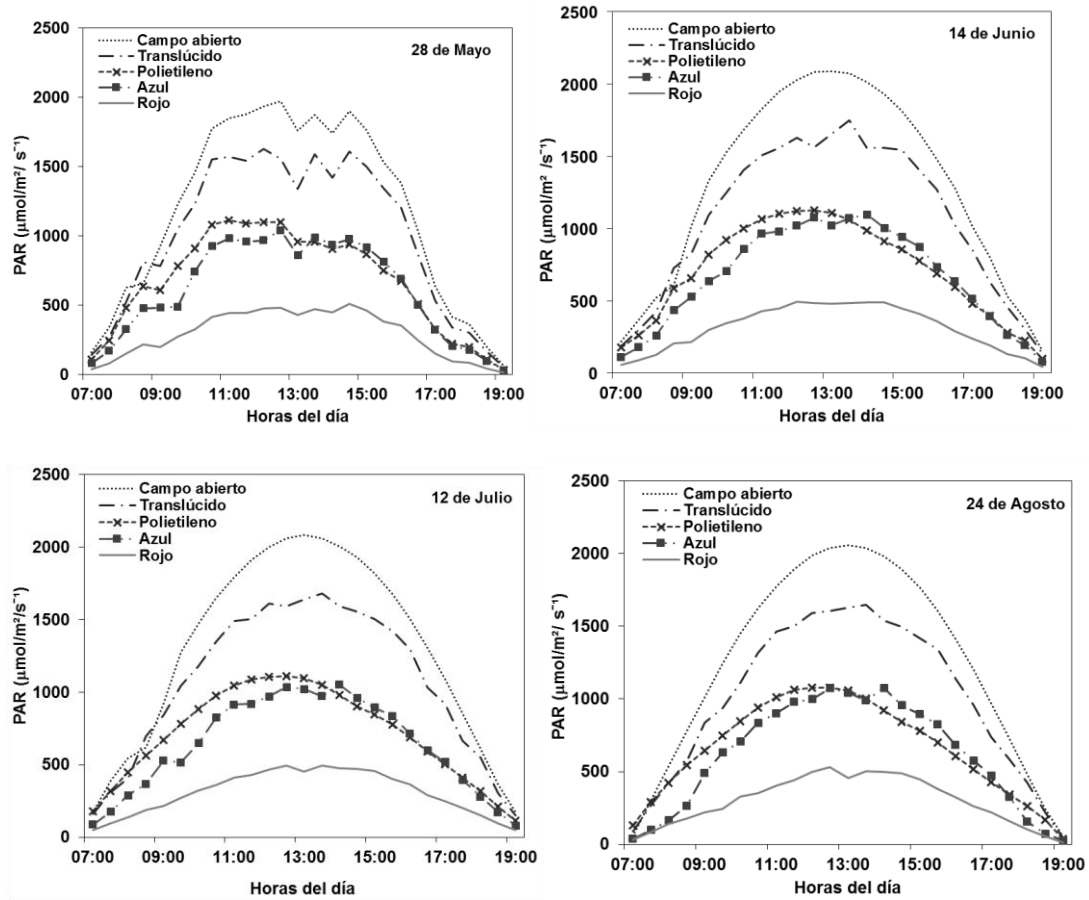


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato translúcido, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) híbrido consúl tipo California.

Cuadro 4. Promedio diario mensual (mol m^{-2}) de la radiación fotosintéticamente activa incidente (campo abierto) y bajo cada cubierta (valores integrados de las 7:00 a las 19:00 h), durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de pimiento morrón.

Radiación fotosintéticamente activa (mol m^{-2}) promedio mensual diario.					
Mes	Campo abierto	Policarbonato translúcido	Polietileno alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
Mayo	38.42	32.29	20.86	19.97	9.36
Junio	52.08	42.60	28.31	26.53	12.35
Julio	52.49	42.56	28.57	26.30	12.45
Agosto	45.18	35.56	23.77	22.20	10.57
Sept	39.92	28.13	20.49	18.15	8.61

Contenido de clorofila en las hojas

La radiación transmitida a través de las diferentes cubiertas plásticas, solo afectó el contenido de clorofila de las hojas al inicio del ciclo de crecimiento de las plantas, ya que, en las primeras etapas de desarrollo, las plantas bajo el policarbonato de color rojo tuvieron menor contenido relativo de clorofila (unidades *spad*) que aquellas bajo las otras cubiertas (Cuadro 5) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). En fechas posteriores, no se tuvieron diferencias en contenido de clorofila de las hojas de las plantas en los diferentes túneles de diferentes colores.

El contenido de clorofila de las hojas de las plantas aumenta cuando se reduce la intensidad de la luz. Las plantas que no están directamente expuestas al sol reciben niveles más bajos de luz y por lo tanto contiene más clorofila que las que están expuestas directamente a la luz solar (Beneragama and Goto 2010). Casierra-Posada *et al.*, (2014) observaron que en plantas de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) el contenido de clorofila bajo películas de polipropileno de color azul, verde y transparente fue mayor que el observado en las plantas bajo películas de color amarillo, rojo y a campo abierto. Mientras que Alam *et al.* (2007) reportaron que el contenido de clorofila de las hojas de plantas de cebolla (*Allium cepa* L.) creciendo bajo láminas de papel filtro de color rojo fue mayor que el

observado en las plantas bajo láminas de papel filtro azul, y este a su vez, fue mayor que el de las plantas a campo abierto.

Las hojas de las plantas que crecen con menos intensidad de luz contienen más clorofila que las hojas expuestas directamente al sol, ya que se requiere clorofila adicional para la captura de radiación difusa, para la producción de carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta. Bajo estas condiciones, las plantas desarrollan más área foliar (Ilić *et al.*, 2015). Los resultados de este estudio coinciden con esta descripción, ya que, al inicio del ciclo de crecimiento, el contenido de clorofila de las hojas de las plantas bajo el túnel con policarbonato rojo fue menor (Cuadro 5) y desarrollaron más área foliar (Cuadro 7). En otro estudio, Posada *et al.* (2014) observaron que el contenido de clorofila de las hojas de plantas de fresa (*Fragaria vesca* L.) creciendo bajo películas de polipropileno de color verde y rojo fue mayor al observado en las plantas que crecieron a campo abierto.

Cuadro 5. Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) híbrido cónsul tipo California, bajo túneles con diferente color y material de cubierta

Tratamiento	Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD)			
	29 Jun 2016.	14 Jul 2016.	12 Agust. 2016	30 Sep. 2016
Campo abierto	54.92 ^a	46.28 ^a	46.27 ^a	44.60 ^a
Policarbonato translúcido	54.07 ^{ab}	43.55 ^b	47.83 ^a	47.80 ^a
Polietileno de alta densidad	53.22 ^{ab}	44.97 ^{ab}	45.92 ^a	48.30 ^a
Policarbonato azul	52.72 ^b	45.80 ^a	45.50 ^a	48.57 ^a
Policarbonato rojo	50.70 ^c	46.35 ^a	46.83 ^a	46.72 ^a

Medias con letra diferente dentro de las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

Altura de planta y área foliar

La cantidad y distribución de radiación incidente tuvo un efecto significativo en la altura de plantas. A través del ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas bajo el túnel con cubierta de policarbonato de color rojo que recibieron menor cantidad

de radiación PAR durante el día (Figura 3) y a través del ciclo de crecimiento (Cuadro 4), fueron de mayor altura, mientras que las que crecieron a campo abierto y en el túnel de policarbonato translúcido, que recibieron mayor PAR fueron de menor porte (Cuadro 6) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Estudios previos (Cope and Bugbee, 2013; Fletcher *et al.*, 2005) han mostrado que las plantas que se desarrollan en un ambiente con déficit de radiación desarrollan mayor elongación del tallo. Oren-Shamir *et al.* (2001) también observaron que las plantas de azahar de la china vareigado (*Pittosporum variegatum*), que crecieron bajo una malla sombra de color rojo tuvieron mayor elongación que las plantas que crecieron a cielo abierto y bajo la malla de color azul. En otro estudio, Ovadia *et al.* (2009) encontraron que plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) y girasol (*Helianthus annuus* L.) que crecieron bajo malla de sombra de color amarillo y rojo, tuvieron mayor elongación del tallo que las plantas bajo malla sombra de color azul y a campo abierto.

Las plantas bajo el policarbonato de color rojo también tuvieron un mayor desarrollo de área foliar a través del ciclo de crecimiento, comparado con el de las plantas que crecieron en los túneles con las otras cubiertas y bajo condiciones de campo abierto (Cuadro 8) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Estos resultados coinciden con las observaciones de Kittas *et al.* (2012), donde mencionan que cuando existe una reducción en la radiación solar recibida en las plantas, se estimula el crecimiento del área foliar. En este contexto, Casierra-Posada *et al.* (2014) encontraron que las plantas de pimiento híbrido (*Capsicum annum* L.) cv Nathalie que crecieron bajo malla sombra de color verde y azul, desarrollaron mayor área foliar que las plantas a campo abierto. Similarmente, Ayala-Tafoya *et al.* (2015) en un cultivo de chile morrón cv. Guardián, observaron un mayor desarrollo de área foliar en las plantas bajo mallas sombra de color verde y roja que en las plantas a campo abierto. Plantas de Crisantemo morifolio ramat cv Chuju, cultivadas en invernadero con cubierta de polietileno translúcido, fueron de menor altura y mayor número de flores que las que se cultivaron bajo cubiertas de polietileno de color amarillo, azul y rojo. (Jin *et al.*, 2012). Martínez-Gutiérrez

et al. (2016) observaron mayor altura de plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo malla sombra negra que las cultivadas a campo abierto

Cuadro 6. Desarrollo de la altura de plantas (cm) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

Tratamiento	Altura de plantas (cm)			
	29 Jun. 2016	14 Jul. 2016	12 Agust. 2016	30 Sept. 2016
Campo abierto	30.80 ^e	38.77 ^d	58.50 ^d	76.67 ^c
Policarbonato translúcido	54.60 ^d	65.80 ^c	88.67 ^c	114.17 ^b
Polietileno alta densidad	71.90 ^c	83.47 ^b	106.00 ^{bc}	123.50 ^b
Policarbonato azul	76.00 ^b	86.52 ^b	116.33 ^{ab}	128.00 ^b
Policarbonato rojo	87.20 ^a	102.22 ^a	132.50 ^a	177.33 ^a

Medias con letra diferente dentro de las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 7. Desarrollo del área foliar de las plantas (cm²) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

Tratamiento	área foliar de las plantas (cm ²)			
	10 Jun. 2016	14 Jul. 2016	12 Agust. 2016	30 Sept. 2016
Campo abierto	29.57 ^c	47.08 ^c	40.08 ^c	48.38 ^c
Policarbonato translúcido	85.03 ^b	62.25 ^{bc}	64.31 ^{bc}	73.45 ^b
Polietileno alta densidad	88.98 ^{ab}	78.41 ^b	68.17 ^{bc}	77.08 ^b
Policarbonato azul	100.99 ^a	76.96 ^b	94.14 ^b	94.92 ^{ab}
Policarbonato rojo	103.83 ^a	118.29 ^a	145.10 ^a	109.52 ^a

Medias con letra diferente dentro de las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Rendimiento de frutos (kg/túnel)

Debido a las condiciones de diferente magnitud de radiación PAR incidente sobre las plantas que crecieron a campo abierto y bajo los túneles de policarbonato de diferente color y el de polietileno de alta densidad, la maduración y rendimiento de los frutos fue muy diferente. Por tal efecto, solo se presta el rendimiento total de todos los cortes realizados en cada túnel. En la Figura 4 se muestra que las

plantas que crecieron en el túnel con la cubierta de polietileno de alta densidad tuvieron el rendimiento mayor de frutos (131.45 kg), mientras que las plantas bajo el policarbonato de color rojo presentaron el rendimiento menor (13.70 kg). El rendimiento de las plantas en los túneles de policarbonato translúcido (78.15 kg) y azul (67.3 kg) fue mayor al observado en campo abierto (24.25 kg) (Figura 4). Los cultivos expuestos a mayor radiación solar (campo abierto) reducen su biomasa y rendimientos, ya que deben designar recursos energéticos para reducir los daños causados por la radiación excesiva y la ultra violeta. Este fenómeno se reduce bajo agricultura protegida (invernaderos o túneles), y las plantas pueden destinar mayor cantidad de recursos energéticos para la producción de biomasa. (Legarrea *et al.*, 2010). La radiación difusa que se genera dentro de los invernaderos tiene un efecto favorable en los cultivos, ya que tiene una relación directa con mayores rendimientos que los obtenidos en condiciones de campo abierto Kitta *et al.* (2014.). Ilić *et al.* (2012) observaron incrementos de hasta 40% de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo malla sombra de diferentes colores, con relación a los rendimientos obtenidos en condiciones de campo abierto.

El menor rendimiento de frutos en las plantas que crecieron bajo el policarbonato de color rojo se debió a una menor incidencia de PAR a las diferentes horas del día (Figura 3) y a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Cuadro 5), pero sobre todo a una incidencia de radiación casi nula en el rango de longitud de onda de 400 a 500 nm y de 500 a 600 nm (Cuadro 1), que resulto en plantas de mayor porte (Cuadro 6), mayor área foliar (Cuadro 7), pero limito el desarrollo y crecimiento de los frutos (Figura 4). Lobos *et al.* (2013) también observaron un retraso en la maduración de frutos de plantas de arándano rojo (*Vaccinium corymbosum* L. cv. Elliott), debido a una reducción en la PAR recibida bajo una malla sombra de color rojo con relación a la observada en las plantas creciendo en condiciones de cielo abierto. En otro estudio realizado por Jin *et al.* (2012) demostraron que la producción de biomasa de un cultivar de Crisantemo (morifolio Ramat CV. Chuj), se reduce a medida que la intensidad de la luz que incide sobre las plantas decrece, debido a diferentes colores de cubiertas de

polietileno y que la biomasa de las plantas bajo el polietileno de color azul que recibieron la menor intensidad de radiación desarrollaron menos biomasa.

El rendimiento mayor de las plantas que crecieron en el túnel con la cubierta de polietileno de alta densidad se debió a la propiedad de alta difusividad de la PAR de este material, que permitió una mejor distribución y penetración de la radiación en todos los estratos del follaje de las plantas, además de reducir la magnitud de la radiación que incide sobre las plantas (Healey *et al.*, 1998, Li *et al.*, 2014).

Estudios realizados por Siwek y Lipowiecka (2004) en un cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), mostraron que un mayor rendimiento de las plantas bajo cubiertas de polietileno que el observado bajo condiciones de campo abierto, y bajo cubiertas de otros materiales como el copolímero de etileno-acetato de vinilo, película de cloruro de polivinilo y polipropileno. Similarmente, Singh *et al.* (2012) observaron mayor rendimiento de un cultivo de fresa (*Fragaria vesca* L.), bajo túneles con cubierta de polietileno (200 μm) que el observado a cielo abierto y bajo mallas sombra de 50 y 75 % de sombreo.

El rendimiento de frutos en las plantas a campo abierto fue menor al observado en las plantas de los túneles bajo las otras cubiertas (policarbonato azul y translúcido), debido a una mayor incidencia de radiación solar que causo un mayor efecto térmico, afectando el desarrollo y rendimiento de las plantas, además de que las plantas a campo abierto tuvieron una menor temperatura nocturna que limito el desarrollo y rendimiento de las plantas. En condiciones de campo abierto, las plantas también están expuestas a un estrés hídrico mayor debido a un mayor déficit de presión de vapor por el efecto de advección del viento que pueden limitar el desarrollo y rendimiento de las plantas. Los cultivos bajo invernaderos son más productivos con relación a los que crecen en condicione de campo abierto, ya que dentro de la estructura se crea un microclima diferente al exterior, con cambios en la intensidad y calidad de luz, temperatura y humedad relativa más estables (Ahemd *et al.*, 2016, Gruda, N. 2005). El rendimiento de un cultivo de fresa (*Fragaria* x *ananassa* Duchesne ex Rozier) bajo túneles fue hasta 313 % mayor y con tiempo de cosecha más prolongado, que el obtenido a campo abierto (Lewers *et al.*, 2017). Los

rendimientos de un cultivo de tomate "Cherokee Purple" (*Solanum lycopersicum* L.), fueron hasta 33% mayores bajo túneles, con menor daño por insectos, por condiciones ambientales adversas y las plantas fueron más precoces, que lo observado en plantas a campo abierto.

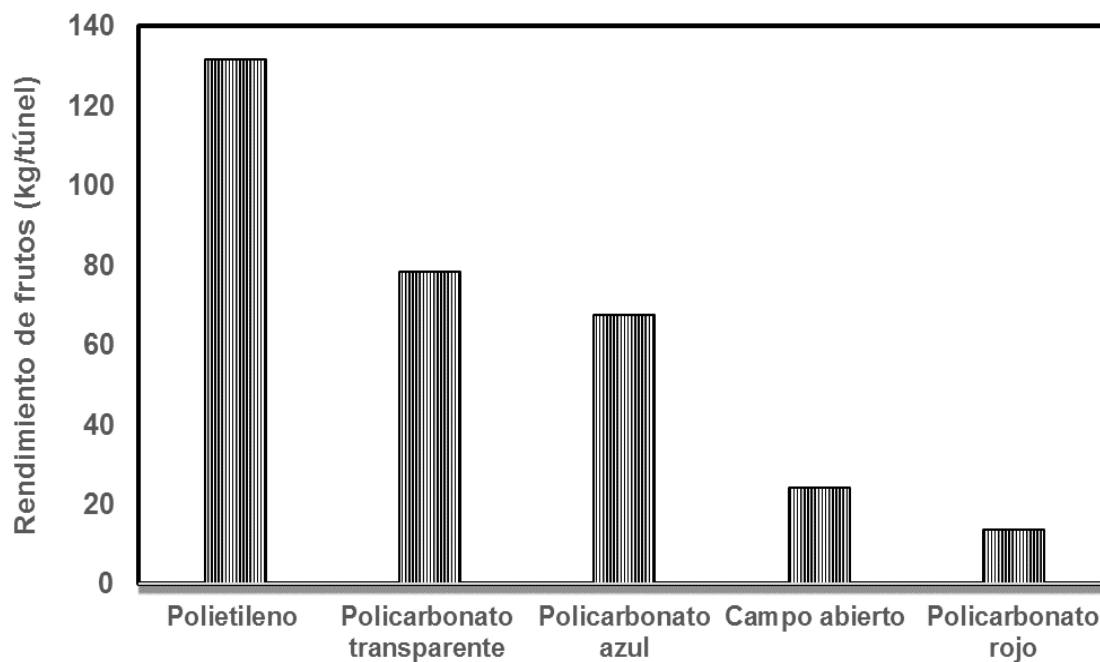


Figura 4. Rendimiento de frutos de un cultivo de cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) híbrido cónsul tipo California, bajo crecimiento en túneles de policarbonato de diferentes colores y polietileno de alta densidad.

CONCLUSIONES

El policarbonato translucido y el polietileno de alta densidad tuvieron mayor transmisividad a la radiación solar (Rsw) y la fotosintéticamente activa (PAR) que el policarbonato de color azul y rojo, además de que el policarbonato rojo mostró una transmisividad casi nula de 400 a 550 nm.

Debido a una menor incidencia de radiación fotosintéticamente activa y casi nula transmisividad de la radiación PAR de 400 a 550 nm, las plantas que se desarrollaron en el túnel con la cubierta de policarbonato rojo, fueron de mayor altura y desarrollo foliar, pero con menor rendimiento de frutos.

El rendimiento mayor de frutos se obtuvo en las plantas bajo el polietileno de alta densidad, que se debió a mayor difusividad de la PAR que tuvo una mejor distribución y penetración de la radiación en las capas de follaje de las plantas.

REFERENCIAS

- Aguilar-Rincón, V. H., T. Corona-Torres, P. López-López, L. Latournerie-Moreno, M. Ramírez-Meraz, H. Villalón-Mendoza y J. A. Aguilar-Castillo. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Alam, M.N., M.S. Islam, M.K. Ali, M.A. Barkotulla and S.M. Khandaker. 2007. Effect of light qualities on dry matter production, crop growth performance and chlorophyll content in onion plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3(6): 871-875.
- Ahemd, H. A., A. A. Al-Faraj and A. M. Abdel-Ghany. 2016. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: a review. *Scientia Horticulturae*. 201: 36-45.
- Antonious, G.F. and M.J. Kasperbauer. 2002. Color of light reflected to leaves modifies nutrient content of carrot roots. *Crop Science* 42(4): 1211-1216.
- Ayala-Tafoya, F., R. Sánchez-Madrid, L. Partida-Ruvalcaba, M. G. Yáñez-Juárez, F. H. Ruiz-Espinosa, T. D. J. Velázquez Alcaraz, and J. M. Parra-Delgado. 2015. Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista fitotecnia Mexicana*. 38(1): 93-99.
- Barquero, V. (2010). Materiales de cerramiento para invernaderos. *Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos*. 23(4):11
- Beneragama, C. K., and K. Goto. 2011. Chlorophyll a: b Ratio Increases Under Low-light in 'Shade-tolerant' *Euglena gracilis*. *Tropical Agricultural Research*. 22(1): 12-25.
- Caro-Encalada M, C. Leyva-Morales, J. Ríos-Santana. 2014. Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Rev de Econ*. 31:95–128.
- Casierra-Posada, F., Y. A. Matallana-Díaz, and E. Zapata-Casierra. 2014. Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by coloured covers. *Gesunde Pflanzen*. 66(4): 149-155.
- Castilla Prados, N. 2007. Invernaderos de plástico, tecnología y manejo. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2.^a ed. 462 p.

- Cook, R. L., and L. Calvin. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. US Department of Agriculture, Economic Research Service. No. 7244.
- Cope, K.R., and B. Bugbee. 2013. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. *HortScience*. 48(4):504-509.
- Darko, E., P. Heydarizadeh, B. Schoefs, M. R. Sabzalian. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. . B* 369: 20130243.
- Díaz, T.; Espí, E.; Fontecha, A.; Jiménez, J. C.; López, J. y Salmerón, A. (2001): Los filmes plásticos para la producción agrícola. Madrid, Mundi-Prensa.
- Eggink, L.L., and J. K. Hooper. 2000. Chlorophyll binding to peptide maquettes containing a retention motif. *Journal of Biological Chemistry*. 275(13): 9087-9090.
- Espí, E., A. Salmerón, A. Fontecha, Y. García, A.I. Real. 2006. Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 22: 85-102.
- Fletcher, J.M., A. Tatsiopoulou, M. Mpezamihigo, J. G. Carew, R. G. C. Henbest, P. Hadley. 2005. Far-red light filtering by plastic film, greenhouse-cladding materials: effects on growth and flowering in *Petunia* and *Impatiens*. *J. Hort. Sci. Biotechnol*. 80: 303–306.
- FAOSTAT (2014) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://faostat.fao.org>. Fecha de consulta (Enero del 2017)
- Folta, K. M. and S.A. Maruhnich. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. *Journal of experimental botany*. 58(12): 3099-3111.
- Fortes, D., R. S. Herrera, S. González, M. García, A. Romero, A. M. Cruz. 2010. Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación lluviosa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(4): 427-431.
- Gitelson, A. A., A. Viña, S. B. Verma, D. C. Rundquist, T. J. Arkebauer, G. Keydan, A. E. Suyker. 2006. Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 111: D8S11.

- Gruda, N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 24(3): 227-247.
- He, J., L. Qin, E.L. Chong, T.W. Choong, and S.K. Lee. 2017. Plant growth and photosynthetic characteristics of *Mesembryanthemum crystallinum* grown aeroponically under different blue-and red-LEDs. *Frontiers in Plant Science*. 8:1-13.
- Healey, K. D., G. L. Hammer, K. G Rickert, and M. P. Bange. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research*. 49(4): 665-672.
- Hernández, R. and C. Kubota. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121:66–74.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2016. (<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19044a.html>) fecha de consulta 15 de enero del 2017.
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Stanojević, D. Cvetković, and E. Fallik. 2012. Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Scientia horticultrae*. 139: 90-95.
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Šunić, and E. Fallik. 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(13): 2660-2667.
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Šunić, S. Barać, J. Mastilović, Ž. Kevrešan, and E. Fallik. 2017. Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Žemdirbystė (Agriculture)*. 104(1): 53-62.
- Jiménez, I. J., M. Ramírez, B. Petit, C. Colmenares, I. Parra. 2017. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y estiércol de bovino en el crecimiento inicial y pigmentación en *Capsicum frutescens* L. *Bioagro*. 29(2): 137-144.
- Jin, M., Z. Zhu, Q. Guo, H. Shen, and Y. Wang. 2012. Growth and accumulation of bioactive compounds in medicinal *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Chuju under different colored shade polyethylene. *Journal of Medicinal Plants Research*. 6(3): 398-404.

- Krizek, D. T. 2004. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UV-B radiation. *Photochemistry and Photobiology*. 79(4):307-315.
- Kittas, C., N. Katsoulas, V. Rigakis, T. Bartzanas, and E. Kitta. 2012. Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 87(1): 7-12.
- Kitta, E., A.D. Baille, N. Katsoulas, N. Rigakis, and M.M. Gonzalez-Real. 2014. Effects of cover optical properties on greenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Biosyst. Eng.* 122:115–126.
- Kosma, C., V. Triantafyllidis, A. Papasavvas, G. Salahas, and A. Patakas. 2013. Yield and nutritional quality of greenhouse lettuce as affected by shading and cultivation season. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 25(12): 974-979.
- Legarrea, S., A. Karnieli, A. Fereres, P. G. Weintraub. 2010. Comparison of UV-absorbing Nets in Pepper Crops: Spectral Properties, Effects on Plants and Pest Control. *Photochemistry and photobiology*. 86(2): 324-330.
- Lewers, K. S., D. H. Fleisher, and C. S. Daughtry. 2017. Low Tunnels as a Strawberry Breeding Tool and Season-Extending Production System. *International Journal of Fruit Science*. 17:1-26.
- Li, K. T., and J. Syvertsen. 2006. Young Tree Growth and Leaf Function of Citrus Seedlings under Colored Shade Netting. *HortScience*. 41(4): 1022-1022.
- Li, T., E. Heuvelink, T. A. Dueck, J. Janse, G. Gort, and L. F. M. Marcelis. 2014. Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Annals of botany*. 114(1):145-156.
- Lobos, G. A., J. B. Retamales, J. F. Hancock, J. A. Flore, S. Romero-Bravo, and A. Del Pozo. 2013. Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Scientia horticultrae*. 153:143-149.
- Manrique Reol, E. 2003. Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*. 12(1): 49-59.
- Martínez-Gutiérrez, G. A., L. Nicolás-Santana, Y. D. Ortiz-Hernández, I. Morales, and G. F. Gutiérrez-Hernández. 2016. Crecimiento y contenido de aceite

en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo mallas sombra de colores. *Interciencia*. 41(6):428-432.

Orden, S., M. Goldberg, R. Quartino, L. Mascarini, A. Landini, H. Malleville, and L. Bottini. 2000. Estudio comparativo entre ensayos de exposición natural y envejecimiento acelerado de films de polietilenos para invernaderos. *Agricultura Técnica*. 60(3): 295-304.

Oren-Shamir, M., E. Gussakovsky, E. Eugene, A. Nissim-Levi, K. Ratner, R. Ovadia, Y. Giller, and Y. Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76(3): 353-361.

Ovadia, R., I. Dori, A. Nissim-Levi, Y. Shahak, and M. Oren-Shamir. 2009. Coloured shade-nets influence stem length, time to flower, flower number and inflorescence diameter in four ornamental cut-flower crops. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 84(2): 161-166.

Posada, F. C., J. E. P. Olmos, and E. Z. Casierra. 2014. Contenido de pigmentos en hojas de fresa (*Fragaria* sp) expuestas a diferente calidad de luz. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 17(1): 87-94.

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. Am. Soc. Hortic. Sci.* 126: 275–282.

Runkle, E. S., and R. D. Heins. 2006. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Horticulturae*. 711: 51–60.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Un panorama del cultivo del chile. Disponible en (<http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>). Fecha de consulta (Abril 2017).

(SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. Atlas agroalimentario. Primera edición. p 236.

Serrano, C. Z. 2005. Construcción de invernaderos. Mundi Prensa Madrid, España. 3^a ed. p:504.

SAGARPA (secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación). (2015). Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNS-AGENE052017.aspx>. Fecha de consulta (Abril 2017).

- Shahak, Y., E. Gal, Y. Offir and D. Ben-Yakir. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae* 797:75-80.
- Singh, A., A. Syndor, B. C. Deka, R. K. Singh, and R. K. Patel. 2012. The effect of microclimate inside low tunnels on off-season production of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia horticulturae*. 144: 36-41.
- Siwek, P., and M. Lipowiecka. 2004. Cucumber cultivation under plastic covers-economic results. *Folia Horticulturae Ann.* 16(2): 40-55.
- Suárez-Salazar, J. C., E. H. Duran-Bautista, J. A. Rojas-Castillo, N. Ortiz-Cifuentes. 2017. Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*. 28(1):199-206.
- Wang, H., and H. Wang. (2014). Phytochrome signaling: time to tighten up the loose ends. *Mol. Plant*. 8: 540–551.
- Zhao, X., and E. E. Carey. 2009. Summer production of lettuce, and microclimate in high tunnel and open field plots in Kansas. *HortTechnology*. 19(1): 113-119.