

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN
(*Capsicum annum* L.) EN TÚNELES CON CUBIERTA DE DIFERENTES COLORES

POR:

LUIS ANTONIO VILLAGRÁN ARENAS

Tesis

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

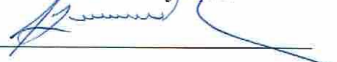
CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN
(*Capsicum annum* L.) EN TÚNELES CON CUBIERTA DE DIFERENTES COLORES

Tesis

Elaborada por LUIS ANTONIO VILLAGRÁN ARENAS como requisito para obtener el grado DE INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN con la supervisión y aprobación del comité de asesoría.

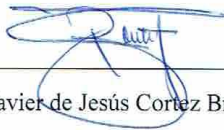
Aprobada:

Presidente del jurado:



Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor principal



Dr. Javier de Jesús Cortez Bracho

Asesor



M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez

Asesor



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor



Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2018

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres. Por creer en mí y brindarme su amor, cariño y apoyo para la realización de mis estudios profesionales por ser mis guías en mi formación como persona, por su tiempo y esfuerzo para darme lo que necesite durante mi estancia en la universidad “no existen palabras para expresarles mi gratitud, toda una vida no alcanzaría para darles todo el amor y cariño que ustedes merecen”

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO. Por haberme brindado la oportunidad de llevar a cabo mi formación profesional al abrirme sus puertas y darme los conocimientos de la carrera ingeniero agrónomo en irrigación.

A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Por darme la oportunidad de realizar un semestre de intercambio en la facultad de ingeniería civil y ser parte complementaria en mi formación profesional y haberme brindado conocimientos, herramientas y experiencias para ser un mejor ingeniero.

A LA RONDALLA DE SALTILLO DE LA UAAAN. Por haber sido parte importante en mi estancia en la universidad y darme experiencias de vida inolvidables que aportaron valores, cualidades y conocimientos para mi formación como profesionista y como persona.

Al Dr. Alejandro Zermeño González. Por haber creído en mí, por invitarme a formar parte de su grupo de investigación, por el tiempo y atención prestados, por los conocimientos y experiencias profesionales que me brindo para mi formación profesional y en especial por brindarme su amistad.

Al M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez. Por su amistad y su confianza durante mi formación académica, así como los conocimientos adquiridos en los diversos proyectos en los que invito a formar parte y en los momentos vividos durante la investigación de este proyecto.

Al Dr. Juan Plutarco Munguía López, Al M.C. Abel Salas Partida y el equipo de investigación encabezado por el Dr. Alejandro Zermeño. Por su disposición y apoyo para realizar el trabajo de campo y por los momentos compartidos durante ese tiempo.

Al Dr. Sergio Garza Vara, al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho, al Dr. Fernando Augusto Villareal Reyna, al Dr. Luis Samaniego Moreno, al Dr. Raúl Rodríguez García. Mis profesores del Departamento De Riego Y Drenaje que me brindaron sus conocimientos, experiencias profesionales y su amistad durante mi formación académica.

DEDICATORIAS

A mis padres José Luis Villagrán Mendoza y Senorina Arenas Ariza. Por darme la vida, por su amor, cariño y confianza durante mi formación académica y ser mi ejemplo de vida por todo su esfuerzo y dedicación para que pudiese culminar mis estudios y darme todo su cariño y amor

A mis hermanos Dulce Aidé, Mayra Cecilia, Sonia Guadalupe, Julio Gabriel Y Karina Lizbeth. Por su apoyo, confianza, cariño, amistad y amor, ustedes son mi inspiración y parte importante en mi formación como persona por todos los momentos compartidos como familia, sus consejos y las experiencias que me han formado como persona.

A Mariana Rosales Barranco. Por formar parte de mi vida, por brindarme tu tiempo, amistad, cariño, confianza, amor y ser una persona muy especial para mí, espero que el destino y la vida tengan proyectos increíbles y llenos de felicidad para ti y tenga la oportunidad de formar parte de ellos.

A mis compañeros de la generación CXXIV de la carrera ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN (Eduardo Santiago Hernández, José Juárez Lucas, Carlos Mazariegoz López, Bernardo Antonio Villafan Cortez, Ricardo Eliel Pérez Castro, Pedro Octavio Kau, Yarian Aldair Diaz Pérez, Benjamín Clemente Pérez, Saul Neftalí Cervantes Zúñiga, Ayber Daniel Santiago García, Ismael López Gómez y Jorge Negrete Armenta) Por haberme brindado su amistad, su confianza, su tiempo y compartir las experiencias y conocimientos durante la formación que recibimos en la carrera ingeniero agrónomo en irrigación.

A mis compañeros de LA RONDALLA DE SALTILLO DE LA UAAAN. (Roberto Paredes Pérez, Francisco Raúl Acuña García, Gerardo Valdez González, Miguel Ángel Regino Valdivia, Sinuhe Efrén Bañuelos Martínez, Víctor García Márquez, Alan Sánchez Castillo, Mauricio Galicia Lugo, Ing. Elías López Canizales, Ing. David Utrera Hernández, Ing. José Manuel Hernández Serrato, Ing. Daniel Soto Muñoz, Ing. Amador Hernández, Ing. Roberto Betancourt, Sergio Antonio Bérreles Fuantos, Erick Santiago Correa Olascoaga, José María García Vázquez, Mauro Alvarado Granados.) por su amistad, apoyo y compartir experiencias inolvidables en mi estancia en la Rondalla.

A mis amigos Ing. Jorge Martínez Mendoza, Ing. Gustavo Rodríguez García, Ing. Ernesto Gerónimo Urbina, Raúl Vallarta España, Roció Vallarta España, Adrián Emanuel Arenas Arenas, Héctor De Jesús López Rodríguez, Efraín Rivera Sandoval, Ing. Gerardo Úrsula Dolores, Aniceto Pérez Diaz, Gilberto Abdón, Laura Castro Rosales, Estefanía Alejandra Cerda Morales, Alberto Crisóstomo Alonzo, Ángel Manuel Abdón, Rosa Isela Mendoza Morales, Mónica Lizeth Aguilar Rosales, Luis Enrique Marín, Luis Erasto Hernández, Francisco Rafael Velázquez Arenas, Osvaldo Torres Martiñón y Ángel Mendoza. Gracias por su amistad y todo lo que compartimos en la universidad, les deseo mucho éxito en su carrera como ingenieros.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | 1 |
| DEDICATORIAS..... | 2 |
| LISTA DE CUADROS..... | 7 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 9 |
| RESUMEN..... | 10 |
| ABSTRACT..... | 12 |
| INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| OBJETIVO..... | 16 |
| HIPÓTESIS..... | 16 |
| REVISIÓN DE LITERATURA..... | 17 |
| Importancia económica y social del pimiento morrón..... | 17 |
| Superficie establecida de pimiento morrón y hortalizas en México y a nivel mundial..... | 17 |
| Estadísticas sobre la producción de pimiento morrón y hortalizas bajo invernadero y bajo túneles en México y el mundo..... | 19 |
| Descripción taxonómica del Pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L)..... | 20 |
| Origen y características del pimiento morrón..... | 20 |
| Flores..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Fruto..... | 21 |
| Semillas..... | 21 |
| Fisiología de la planta..... | 22 |
| Germinación..... | 22 |
| Crecimiento vegetativo..... | 22 |
| Floración..... | 22 |
| Fructificación..... | 22 |
| Maduración..... | 23 |
| Requerimientos edafoclimáticos..... | 23 |
| Temperatura apropiada..... | 24 |
| Humedad relativa optima..... | 24 |
| Luminosidad..... | 24 |
| Tipo de Suelo..... | 24 |
| Fotoperiodicidad..... | 25 |
| Tipos de estructuras que se usan en la agricultura protegida para la producción de hortalizas... | 25 |
| Vivero..... | 26 |
| Invernaderos..... | 26 |
| Macro túnel..... | 27 |

| | |
|--|----|
| Micro túnel..... | 27 |
| Casa sombra..... | 27 |
| Malla sombra..... | 28 |
| Acolchados..... | 28 |
| Relación de rendimientos obtenidos bajo invernaderos y/o túneles respecto al que se obtiene en condiciones de campo abierto..... | 28 |
| Efecto del color y material de las cubiertas en la radiación que se transmite..... | 29 |
| Efecto del color y material en las condiciones climáticas dentro de los invernaderos y/o túneles..... | 31 |
| Efecto del color y la cubierta en el crecimiento y rendimiento de los cultivos..... | 33 |
| Efecto de la radiación y la temperatura en el crecimiento y rendimiento de los cultivos..... | 36 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 39 |
| Ubicación del sitio de estudio y características de los túneles..... | 39 |
| Establecimiento del cultivo..... | 39 |
| Manejo agronómico del cultivo..... | 40 |
| Instrumentación y mediciones realizadas..... | 40 |
| Análisis estadístico..... | 41 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 43 |
| Propiedades espectrales de las cubiertas..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) incidente y transmitida a través de las cubiertas los túneles..... | 44 |
| Temperatura del aire diurna y nocturna en campo abierto y al interior de los túneles..... | 47 |
| Relación entre Temperatura del aire y la Radiación Fotosintéticamente Activa en campo abierto y al interior de los túneles..... | 53 |
| Contenido de clorofila en las hojas..... | 54 |
| Altura de planta y área foliar..... | 56 |
| Rendimiento de frutos..... | 59 |
| CONCLUSIONES..... | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA CITADA..... | 63 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Superficie con actividad agrícola (has), por tipo de agricultura, y finalidad en producción de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) en México en el año agrícola 2016..... | 18 |
| Cuadro 2. Superficie con actividad agrícola (has), bajo agricultura protegida, por tipos de estructuras en la producción en México en el año agrícola 2016..... | 19 |
| Cuadro 3. Total de la producción (Ton), por tipo de agricultura, y finalidad en la producción de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) en México en el año agrícola 2016..... | 19 |
| Cuadro 4. Relación de rendimientos (Ton/ha), por tipo de agricultura, y finalidad en la producción de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) en México en el año agrícola 2016..... | 29 |
| Cuadro 5. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) integrado total mensual (mol m^{-2}), durante el día (08:00 a 19:00 h) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, translucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.)..... | 47 |
| Cuadro 6. Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) promedio mensual diurna de las 08:00 a las 19:00 h en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, translucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.)..... | 52 |
| Cuadro 7. Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) promedio mensual nocturna de las 21:00 a las 06:00 h en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, | |

| | |
|---|----|
| policarbonato azul, traslucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.)..... | 52 |
| Cuadro 8. Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) en las hojas de un cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo..... | 56 |
| Cuadro 9. Desarrollo de la altura de plantas (cm) en un cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo..... | 58 |
| Cuadro 10. Desarrollo de área foliar de plantas (cm ²) en un cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo..... | 59 |
| Cuadro 11. Rendimiento de frutos (kg/túnel) en un cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo..... | 61 |

|

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) incidente a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo al interior de los tunes, a diferentes longitudes de onda y en condiciones de cielo totalmente despejado.....44
- Figura 2. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) que incide (campo abierto) y la que se transmite a través de las cubiertas polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo en un día totalmente despejado para los meses del ciclo del cultivo de pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.).....46
- Figura 3. Temperatura del aire diurna a campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul, traslucido y rojo, en condiciones de cielo totalmente despejado para los meses del ciclo del cultivo de pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.).....50
- Figura 4. Temperatura del aire nocturna en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul, traslucido y rojo, para los meses del ciclo del cultivo de pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.).....51
- Figura 5. Funciones de correlación entre Temperatura del aire (T_a) y Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) durante el día de las 08:00 a las 19:00 horas en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo, para el ciclo del cultivo de pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.).....54

RESUMEN

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN
(*Capsicum annum* L.) EN TÚNELES CON CUBIERTA DE DIFERENTES COLORES

POR:

LUIS ANTONIO VILLAGRÁN ARENAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ

ASESOR

Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2018

RESUMEN

Las propiedades espectrales y el color de la cubierta de los túneles e invernaderos influyen en la temperatura del aire y la transmisividad de la radiación en el interior de los mismos, esto a su vez, puede tener efecto en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Por lo que, el objetivo de este estudio fue, determinar el efecto del color y material de cuatro cubiertas en la magnitud y propiedades espectral de la radiación que se transmite, la temperatura del aire y su relación con el crecimiento y rendimiento de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.). El estudio se realizó en cuatro macro túneles. La cubierta de tres de ellos fue laminas de policarbonato de color rojo, azul y translucido. La cubierta del cuarto túnel fue polietileno difuso de alta densidad. Al punto medio del interior de cada túnel se midió la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que se transmitió y la temperatura del aire. Durante el ciclo de crecimiento del cultivo se midió la altura de planta, diámetro del tallo, contenido de clorofila de las hojas y el rendimiento de frutos. Los resultados del estudio mostraron que las plantas que crecen bajo el polietileno difuso de alta densidad tienen el mayor rendimiento de frutos, esto debido a una menor temperatura diurna y nocturna y a sus propiedades de alta difusividad que permiten mayor penetración de la PAR a través de los estratos de follaje de las plantas. Mientras que, las plantas en el policarbonato rojo tuvieron el menor rendimiento de frutos, atribuido a la nula transmisividad de la PAR de 400 a 550 nm de este material que limita marcadamente la floración, desarrollo y el crecimiento de los frutos.

Palabras clave: Pimiento morrón, macro túnel, radiación fotosintéticamente activa, cubierta plástica.

ABSTRACT

GROWTH AND YIELD OF A PEPPER BELL CROP (*Capsicum annum* L.) IN TUNNELS
WITH COVER OF DIFFERENT COLORS

BY:

LUIS ANTONIO VILLAGRÁN ARENAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Engineering Division

Irrigation and Drainage Department

DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ

Advisor

Saltillo, Coahuila, México

Agosto 2018.

ABSTRACT

Spectral properties and color of the tunnels and greenhouse covers affect the air temperature and the transmissivity of the radiation inside them, this in turn, may affect the crops growth and yield. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of the color and material of four covers on the magnitude and the spectral properties of the transmitted radiation, air temperature and its relation with the growth and yield of pepper bell crop (*Capsicum annum* L.). The study was carried out on four macro tunnels. The cover of three of them was sheets of polycarbonate of red, blue and clear colors. The cover of the fourth tunnel was diffuse polyethylene of high density. At the middle point in the inside of each tunnel the transmitted photosynthetically active radiation (PAR) and the air temperature was measured. Throughout the crop growing season, measurements of plant height, stem diameter, leaves chlorophyll content and fruits yield were made. The results of the study showed that the plants that grow under the diffuse polyethylene of high density had the highest fruit yield, that was due to a lower day and night air temperature and to its properties of high light diffusivity that allowed more PAR penetration throughout the plant foliage stratus. On the other hand, the plants on the red polycarbonate had the lower fruit yield, which was due to the null PAR transmissivity from 400 to 550 nm of wavelength of this material, that markedly limited the flowering and the fruit growth and development.

Key words: pepper bell, macro tunnel, photosynthetically active radiation, plastic cover

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola a nivel mundial es un tema de gran importancia y trascendencia ya que a medida que crece la población también la demanda de alimentos lo hace, el cambio global y el desarrollo de la tecnología brindan nuevos desafíos y oportunidades para influir en los procesos de crecimiento de las plantas (Dueck, *et al.*, 2016), para describir el crecimiento y desarrollo de los cultivos, es necesario determinar las funciones o tasas de diferentes procesos; éstos incluyen la identificación de fases y etapas distintivas del desarrollo, así como la predicción de la duración de éstas para determinados regímenes de temperatura (Wurr *et al.*, 2002; Soto-Ortiz *et al.*, 2006; Soto-Ortiz y Silvertooth, 2008), predecir y controlar las condiciones ambientales en el invernadero es esencial para gestionar la producción de cultivos y mejorar la eficiencia de la operación y la producción (Abdel-Ghany, 2011), el funcionamiento de los invernaderos se debe al efecto invernadero, las longitudes de onda cortas de la irradiación solar pueden pasar a través de un techo transparente y son absorbidas por los objetos en el interior del invernadero, los objetos calentados volverán a irradiar longitudes de onda más largas que no pueden atravesar el techo transparente. La temperatura aumentará debido a la acumulación de calor en este proceso (Morteza *et al.*, 2018), las materias primas son generalmente polietileno de baja densidad (LDPE) y etileno-acetato de vinilo (EVA) o copolímeros de etileno-acrilato de butilo (EBA) para las cubiertas y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) para el acolchado (Espí *et al.*, 2006), los parámetros del clima mayormente considerados por su impacto en los costos de producción son la temperatura del aire y la radiación solar, estos influyen en los rubros de costos de combustibles y electricidad para enfriar, ventilar y calentar, están estrechamente relacionados con el manejo de la humedad relativa y su

asociación con la presencia de plagas y enfermedades en los invernaderos (FIRA, 2013), el crecimiento y el desarrollo de las plantas están altamente regulados por la luz, las plantas pueden percibir la intensidad, la composición espectral y la dirección de la luz y responder en consecuencia. La regulación dependiente de la luz es transmitida por el sistema fotosintético, así como por los procesos de foto morfogénesis (Basile *et al.*, 2014), muchos procesos fisiológicos de las plantas dependen de la temperatura y para cada tipo de cultivo existe un rango de temperatura para un rendimiento óptimo (Tanny, 2013), las temperaturas del aire por encima del óptimo producen trastornos fisiológicos en las flores, lo que reduce el cuajado y, por lo tanto, el rendimiento total (Saha *et al.*, 2010). Zambrano-Vaca *et al.*, 2016 enfatizan que el uso de túneles podría ser una herramienta valiosa para que los productores obtengan mejores precios produciendo pimientos de colores. En la horticultura protegida, la manipulación activa del entorno de crecimiento de las plantas se usa comúnmente para optimizar la producción y la calidad de la planta (Dueck, *et al.*, 2016), con el fin de mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, el conocimiento actual sobre cómo las plantas responden a la luz se está aplicando en la horticultura (Ilić, *et al.*, 2017), la manipulación de la calidad de la luz se aplica actualmente en la horticultura a través de redes o películas foto-selectivas para mejorar el rendimiento, la calidad y la composición fitoquímica de las plantas cultivadas (Ilić, *et al.*, 2012), solo la parte PAR de la radiación entrante es absorbida por las plantas de invernadero y es importante para su crecimiento y fotosíntesis. Lamnatou y Chemisana, 2013 señalan que significa que las manipulaciones específicas de la radiación que ingresa al espacio interior del invernadero pueden ofrecer ventajas, el efecto más sorprendente de las pantallas es transmitir solo una parte de la radiación solar, sin embargo, la transmisividad de la pantalla puede ser diferente para diferentes longitudes de onda, otro efecto de las pantallas es la conversión de parte de la radiación de directa a difusa; esto es significativo para la fotosíntesis de plantas maduras donde

las hojas a niveles más bajos están sombreadas (Tanny, 2013), en combinación con otra tecnología de plasticultura, los túneles continuarán siendo un punto clave para la producción sostenible de cultivos alimentarios (Lewis, 2017).

OBJETIVO

Evaluar el efecto del color y tipo de material de cuatro cubiertas de túnel en la magnitud y características espectrales de la radiación que se transmite, la temperatura del aire y su relación con el crecimiento y rendimiento de un cultivo de chile morrón

HIPÓTESIS

El color y tipo de materia de las cubiertas de invernadero determinan las características de la radiación que se transmite y la temperatura del aire. Esto en turno, afecta el crecimiento y rendimiento de las plantas

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia económica y social del pimiento morrón.

El pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel nacional y mundial, siendo de los cultivos hortícolas mayormente producidos y comercializados, actualmente México es uno de los grandes competidores a nivel internacional así mismo sus ventajas comparativas lo posicionan como un proveedor predilecto en el comercio internacional de este cultivo. Los chiles y pimientos son típicos de la gastronomía mexicana y son de los productos con mayor potencial de mercado en el ámbito internacional con una producción anual de 3.2 millones de toneladas. El grupo de chiles y pimientos constituido principalmente por cultivos de chile de árbol, chile habanero, chile bell, chile ancho y chile Anaheim constituye el 3.5% del PIB agrícola nacional (SAGARPA, 2017).

Superficie establecida de pimiento morrón y hortalizas en México y a nivel mundial.

En el año 2016 la superficie establecida para la producción de pimiento morrón bajo agricultura convencional y protegida así como por el mercado de comercialización final fue de 8127.41 has. La superficie agrícola dedicada a la producción mundial de pimientos es de 1938788.00 has. (FAOSTAT,2016). En México la producción agrícola en 2016 arrojó 15,309,630.68 has con un valor de 297,142,438.09 miles de pesos (SIAP, 2016), a nivel nacional la superficie con actividad agrícola es de 49,951,551.92 has, de las cuales 979,216.3 has son de agricultura protegida.

En el mundo la superficie agrícola es de 4,868,989,500.00 has, de las cuales la superficie destinada a la producción de hortalizas es de 57,003,435.00 has (FAOSTAT,2016).

Cuadro 1. Superficie con actividad agrícola (has), por tipo de agricultura, y finalidad en producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en México en el año agrícola 2016.

| | HAS |
|---|----------|
| CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 3,564.05 |
| CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 395.30 |
| INVERNADERO PARA CONSUMO NACIONAL | 1143.54 |
| INVERNADERO PARA EXPORTACIÓN | 22.00 |
| MACRO TÚNEL | 7.00 |
| MALLA SOMBRA CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 1,778.58 |
| MALLA SOMBRA CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 1,088.00 |
| MALLA SOMBRA ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 4.50 |
| ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 124.44 |
| SUPERFICIE TOTAL ESTABLECIDA EN MÉXICO | 8,127.41 |

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016).

Cuadro 2. Superficie con actividad agrícola (has), bajo agricultura protegida, por tipos de estructuras en la producción en México en el año agrícola 2016.

| | SUPERFICIE (HAS) |
|--------------|------------------|
| VIVERO | 60,491.87 |
| INVERNADERO | 629,267.42 |
| CASA SOMBRA | 31,545.21 |
| MALLA SOMBRA | 149,622.95 |
| MACROTUNEL | 51,467.72 |

| | |
|--------------|-----------|
| MICRO TÚNEL | 30,962.81 |
| PABELLÓN | 11,649.39 |
| TECHO SOMBRA | 14,208.93 |

INEGI. Instituto Nacional De Geografía Y Estadística (2016).

Estadísticas sobre la producción de pimiento morrón y hortalizas bajo invernadero y bajo túneles en México y el mundo.

En México en el año agrícola 2016 se obtuvo una producción total de 420,331.86 Ton totales de pimiento morrón bajo agricultura convencional y protegida así como por el mercado de comercialización final. La producción mundial de pimientos es de 34,497,462.00 Ton. Y la producción de hortalizas es de un total de 1,075,203,877.00 ton. (FAOSTAT, 2016).

Cuadro 3. Total de la producción (Ton), por tipo de agricultura, y finalidad en la producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en México en el año agrícola 2016.

| | TON |
|------------------------------------|------------|
| CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 159,864.40 |
| CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 14,207.95 |
| INVERNADERO PARA CONSUMO NACIONAL | 13,600.10 |
| INVERNADERO PARA EXPORTACIÓN | 2383.80 |
| MACRO TÚNEL | 504.00 |

| | |
|---|------------|
| MALLA SOMBRA CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 157,447.71 |
| MALLA SOMBRA DE FORMA CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 67,200.20 |
| MALLA SOMBRA ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 425.53 |
| ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 4,698.14 |
| TOTAL DE PRODUCCIÓN NACIONAL | 420,331.80 |

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)

Descripción taxonómica del Pimiento morrón (*Capsicum annuum* L).

Familia: *Solanáceas*.

Especie: *Capsicum annuum* L.

La mayor parte de las variedades de pimiento cultivadas pertenecen a la especie *Capsicum annuum* L., por lo que es éste el nombre científico del pimiento.

Origen y características del pimiento morrón.

Los pimientos dulces se originaron en América Central y se pueden encontrar dependiendo en tamaño y en color verde oscuro, rojo, amarillo y anaranjado; es de gran tamaño, lustroso, carnoso. Los pimientos son técnicamente una baya y de acuerdo con la variedad puede ser cúbico, cónico o esférico. De interior hueco, está dividido de dos a cuatro costillas verticales interiores que portan las semillas, de color amarillo pálido. El pimiento morrón, probablemente es el tipo más popular cultivado en invernaderos, se caracterizan por frutas grandes en forma de bloque con tres o cuatro lóbulos. Tienen alrededor de 3 pulgadas de ancho, Giant, Pip, Canape,

Lady Bell, Gypsy, and New Ace Hybrid. Las variedades que no son rojas en su madurez incluyen Golden Bell, Klondike Bell, y Orobelle, que cambian de verde a amarillo. Oriole se vuelve naranja. Purple Bell, Lorelei y Violetta se vuelven morados. Dove se vuelve blanco. (Oregon State University, 1993). El pimiento es una planta herbácea, con sistema radicular pivotante y profundo que puede llegar hasta 70-120 cm, provisto y reforzado de un número elevado de raíces adventicias. El tallo de crecimiento limitado y erecto, con un porte que en término medio puede variar entre 0,5 y 1,5 m. Cuando la planta adquiere cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente. Hojas lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo o poco aparente.

Flores

Poseen una corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axial. Su fecundación es claramente autógena, no superando el porcentaje de alogamia del 10%.

Fruto

Baya hueca 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 500g.

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 (Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012).

Fisiología de la planta.

Germinación

Es un proceso complejo en el que se distinguen tres fases, la fase de hidratación, la de germinación estricta y la de crecimiento. Los cultivares de *C. annuum* no presentan latencia seminal, si las semillas están inmaduras se retrasa la germinación, sobre la germinación inciden diversos factores, destacando la necesidad de humedad y aireación, así como un rango térmico de 20-30 °C. A temperaturas próximas a 30 °C la germinación es más rápida que con temperaturas más bajas. A 35 °C no se produce germinación.

Crecimiento vegetativo

El crecimiento dura durante todo el cultivo, el crecimiento es simpoidal (de cada nudo salen 2 o 3 tallos).

Floración

Para que se produzca la floración, se materializa con la presencia mínima de 12-14 hojas, es una planta refloreciente y flores solitarias.

Fructificación

No todas las flores se desarrollan a frutos. El término cuajado indica que se ha iniciado el desarrollo del fruto. La proporción de cuajado depende de los siguientes factores: En primer lugar, existe una correlación negativa entre el número de frutos en desarrollo y el cuajado de nuevas flores. Entre los factores exógenos, la reducción de la intensidad luminosa reduce el porcentaje de cuajado, quizás el factor externo más importante es la temperatura. A temperaturas

diurnas superiores a 30 °C el cuajado es muy escaso, aumentando este a medida que la temperatura baja hasta un óptimo de 20 °C. Podemos decir que cuando la temperatura es menor de 10 °C durante la floración, la fructificación si se produce es partenocárpica y los frutos así formados son de pequeño tamaño y sin semillas. Una planta joven sometida durante la noche a una temperatura de 12 °C produce un mayor número de flores que esa misma planta sometida a temperaturas nocturnas de 18 °C, las bajas temperaturas nocturnas (8-10 °C) reducen la viabilidad del polen, pero favorecen la formación de frutos partenocárpicos. No hay técnicas de cuajado salvo la temperatura, para que se produzca el cuajado del fruto en pimiento California la temperatura tiene que ser mayor de 16 °C y en Lamuyo mayor de 10 °C. El fruto se desarrolla entre 35-50 días.

Maduración

La madurez fisiológica se alcanza cuando está verde y cambia a rojo o amarillo. Durante la maduración del fruto se producen cambios cuantitativos en su composición asociados a cambios cualitativos de color, sabor, textura y olor. Un factor decisivo en la maduración es la temperatura, siendo por lo común temperaturas necesarias entre 15-35 °C para una adecuada maduración.

Requerimientos edafoclimáticos

Temperatura apropiada

Se estima necesaria una temperatura media mensual comprendida entre los 18-22 °C, aunque la más favorable oscila entre los 20-25 °C por el día y de 16-18 °C por la noche, siendo importante que las diferencias entre el día y la noche no sean grandes, para evitar desarreglos vegetativos

con endurecimientos de la planta y caída de flores. Por debajo de 15 °C la planta retrasa su crecimiento, que se paraliza al llegar a los 10 °C. Con temperaturas superiores a 35 °C, la fecundación es muy deficiente, sobre todo si el ambiente es seco. Sin embargo, la planta tolera temperaturas muy elevadas, superiores a los 40 °C, a condición de que exista una elevada humedad ambiente.

Humedad relativa optima

El pimiento se adapta bien al ambiente confinado tanto de los túneles como de los invernaderos, donde frecuentemente hay una humedad relativa muy elevada, a condición de que no se produzcan cambios bruscos o desajustes entre la humedad y la temperatura. La humedad óptima se sitúa entre el 50% y 70%. Con una humedad relativa superior al 70% se producen situaciones favorables para el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

Luminosidad

El pimiento es una planta exigente en luz durante todo su ciclo vegetativo, especialmente en la floración. La falta de luz provoca un cierto ahilamiento de la planta, con alargamiento de los entrenudos y de los tallos, que al quedar más débiles no podrán soportar una cosecha abundante.

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. Las variedades de carne gruesa, destinadas al consumo en fresco, son generalmente más exigentes que las variedades de carne fina, sobre todo en cuanto a la textura del suelo, la salinidad y el contenido de materia orgánica de éstos. Los suelos

arcillosos no son aptos para el pimiento, ya que provocan asfixia radicular y favorecen el desarrollo de ciertas enfermedades del suelo. La arcilla es un factor que reduce el tamaño medio de los frutos con la consiguiente influencia en los precios. Los suelos salinos tampoco son aptos para este cultivo por retrasar considerablemente el desarrollo y afectar desfavorablemente al tamaño de los frutos y a la calidad de la cosecha. Zambrano-Vaca et al., 2016 enfatizan que si tanto el riego como los nutrientes no se limitan los pimientos pueden ser cultivados en pequeños contenedores sin afectar los pesos de brotes y raíces.

Fotoperiodicidad

La duración del fotoperiodo parece tener cierta influencia sobre la vegetación y sobre la fructificación del pimiento, pues es evidente que su cultivo presenta mayores problemas en la estación de días cortos (otoño), que en la de días largos (primavera). No obstante, los problemas que se han presentado en el cultivo del pimiento en otoño están influenciados por las condiciones de humedad y temperatura del suelo y del aire que, en esa época, van evolucionando inversamente, disminuyendo la temperatura y elevándose la humedad conforme se van acortando los días. La floración parece estar más condicionada por la temperatura y por la luz que por la duración del fotoperiodo. Aun así, también en otoño, en condiciones de temperatura y luz totalmente favorables, parece haber mayor propensión a la caída de flores que en primavera.

Tipos de estructuras que se usan en la agricultura protegida para la producción de hortalizas.

La agricultura protegida es un conjunto sistemas de producción que conjuntan tecnología en infraestructura, técnicas y estrategias para lograr un mayor control ambiental y uso eficiente del

agua, brindando protección a los cultivos y ampliando la certeza y rendimiento de la producción (INEGI, 2018), de acuerdo con la normatividad para la generación de estadística básica agropecuaria y pesquera que emite el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie de agricultura protegida es aquella área en la que el desarrollo del cultivo se realiza bajo cubiertas plásticas, malla sombra u otro tipo de material y en condiciones ambientales controladas como la temperatura, humedad, luz, etcétera.

Vivero

Construcción o instalación al aire libre en donde las plantas se reproducen y reciben los cuidados necesarios desde su desarrollo hasta su comercialización o trasplante definitivo. No se consideran en este concepto los semilleros y almácigos (superficie de terreno muy reducida donde, exclusivamente, se pone a germinar la semilla) (INEGI, 2018).

Invernaderos

Construcción o instalación cubierta de vidrio o plástico, en donde se controla la temperatura, la humedad y los nutrientes de las plantas para su desarrollo, reproducción y comercialización (INEGI, 2018), son estructuras herméticamente cerradas con materiales transparentes, con suficiente capacidad de altura y ancho para permitir cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales (SAGARPA, 2017). La selección del tipo de material plástico que se utilizará depende de varios factores, principalmente la tradición local relacionada tanto con el latitud y las características climáticas y a la protección cultivo (Scarascia *et al.*, 2011).

Macro túnel

Estructura de forma de medio cilindro y está cubierto por malla sombra o polietileno. Son túneles altos, generalmente contruidos con arcos de bambú, tubos de PVC o hierro galvanizado (SAGARPA, 2017), con una altura de 2 a 3 m, ancho 4 a 6 m, longitud 40 m, máximo. Las labores de cultivo se realizan fácilmente en su interior; la ventilación se maneja lateralmente y se arman y desarman rápidamente. Se utilizan para la producción de hortalizas de hoja y/o raíces tolerantes a las bajas temperaturas para ampliar el periodo de cosecha, como viveros de plántula destinada a trasplantes y, para la producción de especies ornamentales y forestales (INEGI, 2018).

Micro túnel

Estructura pequeña y construida con arcos sobre los que se adhieren cubiertas de plástico. Disminuye los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas en los cultivos (SAGARPA, 2017), los túneles bajos consisten en pequeñas estructuras de soporte en forma de arco cubiertas por una película de plástico, a fin de realizar un microclima protegido adecuado para el cultivo (Scarascia *et al.*, 2011), esta estructura es de porte bajo, altura aproximada de 1 m y ancho de 2 m. Puede ser continuo o discontinuo, este último generalmente no mayor a 10 m, en donde las labores culturales se realizan desde su exterior, levantando la cobertura. (INEGI, 2018).

Casa sombra

Construcción resistente, flexible y funcional que protege al cultivo de la radiación solar, los vientos e insectos, y genera un microclima adecuado para cualquier cultivo de gran escala, en climas cálidos, con la finalidad de lograr una mejor calidad y rendimiento de este (INEGI, 2018).

Malla sombra

Malla tejida tipo raschel (anudada) que se utiliza para dar sombra, proteger contra cierto tipo de insectos, lluvia, viento, polvo, granizo, entre otras, propiciando el bajo consumo de agua y la disminución en la temperatura, con lo que se reducen riesgos en la cosecha (INEGI, 2018).

Acolchados

La técnica de acolchado consiste en cubrir el suelo, donde se han plantado los cultivos, con una capa que protege las plántulas y las plantas jóvenes. La aplicación de acolchado contribuye a aumentar la temperatura del suelo a nivel de raíz gracias a la reducción de la evaporación del agua y de la pérdida de calor por radiación y convección, contribuyendo también a la reducción del crecimiento de malezas y el uso consiguiente de productos químicos. En la actualidad, el acolchado está hecho de películas de plástico, transparentes u opacas, blancas o negras o de color, que tienen un grosor pequeño (20-50 μm), que se colocan mecánicamente en el suelo (Scarascia *et al.*, 2011).

Relación de rendimientos obtenidos bajo invernaderos y/o túneles respecto al que se obtiene en condiciones de campo abierto.

En México el mayor rendimiento en la producción de pimiento morrón se logra en invernadero con la finalidad de llegar al mercado nacional, el cual es de 113.08 Ton/ha siendo este 3.14 veces más grande que el rendimiento que se obtiene en condiciones de campo abierto y con manejo convencional 35.94 Ton/ha, el rendimiento promedio obtenido en México para el año agrícola 2016 fue de 51.71 Ton/ha. En el mundo la producción la producción de pimientos tiene un rendimiento de 17.7933 Ton/ha y la producción de hortalizas tiene un rendimiento de 18.8621 Ton/ha (FAOSTAT, 2016).

Cuadro 4. Relación de rendimientos (Ton/ha), por tipo de agricultura, y finalidad en la producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) en México en el año agrícola 2016.

| | RENDIMIENTO (TON/HA) |
|---|-------------------------|
| CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 44.85 |
| CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 35.94 |
| INVERNADERO PARA CONSUMO NACIONAL | 113.08 |
| INVERNADERO PARA EXPORTACIÓN | 108.35 |
| MACRO TÚNEL | 72.00 |
| MALLA SOMBRA CONVENCIONAL PARA CONSUMO NACIONAL | 88.52 |
| MALLA SOMBRA DE FORMA CONVENCIONAL PARA EXPORTACIÓN | 61.76 |
| MALLA SOMBRA ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 94.56 |
| ORGÁNICO PARA EXPORTACIÓN | 37.75 |
| RENDIMIENTO PROMEDIO | 51.72 |

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)

Efecto del color y material de las cubiertas en la radiación que se transmite.

La energía solar incidente en el invernadero (S_G) es absorbida por la cubierta (S_c), por el vapor de agua, si lo hay, (S_w), por las plantas (S_p) y por el suelo (S_s). La porción restante de S_G es la pérdida fuera del invernadero (S_L). el Valor de S_c , S_w , S_p , S_s y S_L no solo dependen de las propiedades radiactivas de los componentes del invernadero sino también de las interrelaciones entre estos componentes (Abdel-Ghany, 2011), la luz entre 400 y 700 nm es

necesaria para la fotosíntesis, por lo que una cubierta de invernadero debe ser lo más transparente posible a esta parte del espectro solar (Espí *et al.*, 2006), la cubierta que incluye el techo y las paredes laterales que cubren el material y el marco metálico que construye el invernadero es una capa semitransparente que tiene transmitancia y reflectancia a la radiación solar global incidente hacia abajo o hacia arriba (Abdel-Ghany, 2011), el material de revestimiento es un factor importante que está relacionado con el PAR que ingresa al espacio interior del invernadero, en primer lugar, el tipo del material básico del revestimiento está asociado con diferentes transmitancias PAR. Por ejemplo, vidrio, policarbonato (pared doble), polietileno (capa única) y revestimientos acrílicos muestran transmitancias PAR 90, 75, 88 y 86%, respectivamente (Lamnatou y Chemisana, 2013), la opacidad de la película se puede aumentar al incluir rellenos minerales o pigmentos blancos en la composición, pero generalmente también disminuyen la transmisión total de la luz. (Espí *et al.*, 2006), Los materiales de cobertura determinan variaciones micro climáticas significativas dentro del espacio protegido, al reducir las pérdidas de energía conductiva, convectiva y radiante. (Scarascia *et al.*, 2011), la tasa de flujo de calor a través de la cubierta del invernadero depende de diferentes parámetros tales como la conductividad térmica y las propiedades de radiación de onda larga del material de recubrimiento, aire exterior, temperatura del aire y cubierta interiores y el movimiento de aire dentro y fuera del invernadero (Sethi *et al.*, 2013), la evaluación del rendimiento térmico de un invernadero requiere una comprensión de los intercambios de energía solar entre sus componentes (es decir, la cubierta, las plantas, el suelo y el aire interior) y las cantidades de radiación solar que se convierten en calor sensible y latente (Abdel-Ghany, 2011), se aplica una condición de contorno mixto en la superficie externa del techo que permite el intercambio de calor por radiación y convección con el medio ambiente (coeficiente de convección con aire exterior igual a $25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) (EN ISO 10077.01, 2000) y por conducción

con el material transparente sólido (Baxevanou *et al.*, 2017), el dosel de la planta es una capa semitransparente que incluye partes aéreas de tejidos vegetales y aire; caracterizado por una transmitancia efectiva y reflectancia a la radiación solar global incidente hacia abajo o hacia arriba. La superficie del suelo es una placa absorbente; caracterizado por una reflectancia superficial a la radiación incidente global (Abdel-Ghany, 2011).

Efecto del color y material en las condiciones climáticas dentro de los invernaderos y/o túneles.

El aumento de las condiciones climáticas del microclima en el entorno protegido mediante la explotación de la radiación solar entrante, conocida como "efecto invernadero", depende de las propiedades radiométricas de los materiales de revestimiento instalados tanto en la radiación infrarroja solar como en la de onda larga (Scarascia *et al.*, 2011), esta tecnología tiene como objetivo combinar la manipulación de la luz, junto con la protección física de los peligros ambientales (por ejemplo, radiación excesiva, granizo, viento, plagas voladoras) y con la mitigación del microclima (Shahak *et al.*, 2004), el crecimiento de las plantas depende de los parámetros que describen el microclima dentro de un invernadero (distribución de temperatura, humedad, velocidad del aire, concentración de CO₂, etc.) así como de la radiación PAR disponible a nivel de las plantas (Baxevanou *et al.*, 2017), el microclima de invernadero describe cuantitativamente los procesos de transferencia de energía y masa dentro del dosel, los procesos de intercambio entre el aire y los elementos de la planta y otras superficies, y las formas en que las plantas responden a los factores ambientales (Sethi *et al.*, 2013), el funcionamiento de los invernaderos se debe al efecto invernadero. Las longitudes de onda cortas de la irradiación solar pueden atravesar un techo transparente y son absorbidas por los objetos en el interior del invernadero. Los objetos calentados volverán a irradiar longitudes de onda más largas que no

pueden atravesar el techo transparente, la temperatura aumentará debido a la acumulación de calor en este proceso (Morteza *et al.*, 2018), la elección del material afectará la temperatura y el campo de flujo que se desarrollarán dentro del invernadero (Baxevanou *et al.*, 2017), los materiales de cobertura con alto coeficiente de transmitancia pueden permitir un PAR suficiente durante el invierno, pero pueden provocar un sobrecalentamiento durante el verano, aumentando las necesidades de ventilación y el consumo de energía para los métodos de enfriamiento activo (como el enfriamiento por evaporación). Por el contrario, los materiales de cobertura con un bajo coeficiente de transmitancia protegen a las plantas del sobrecalentamiento durante el verano, pero pueden evitar un PAR suficiente durante el invierno. En consecuencia, la elección del material de cobertura adecuado debería considerar el rendimiento de la cubierta durante todo el año (Baxevanou *et al.*, 2017), las reducciones en la radiación resultantes de la compensación afectarán las temperaturas (aire, planta, suelo) y las humedades relativas (Stamps, 2009), el suelo se considera pared adiabática y las paredes laterales se consideran isotérmicas con temperatura variable durante el día de acuerdo con la temperatura ambiental externa. El techo está simulado con una pared semitransparente acoplada térmica y ópticamente con un material sólido transparente de anchura finita (con las propiedades ópticas de los materiales de cubierta examinados) y una pared interna semitransparente (Baxevanou *et al.*, 2017), el recubrimiento de plástico de polietileno evita la erosión del suelo durante eventos de alta precipitación. (Lewis, 2017), el aire húmedo en el invernadero es una capa bien mezclada y semitransparente; tener una transmitancia a la radiación solar y la radiación del haz pasa a través de una longitud de camino equivalente (Abdel-Ghany, 2011).

Efecto del color y la cubierta en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

La calidad de la radiación que el material de cobertura permite ingresar al invernadero es importante para evaluar su influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Kittas *et al.*, 1999), el efecto aislante de la película ayuda a mantener la temperatura y la humedad del suelo, minimizando la siembra y la cosecha (precocidad) y otros beneficios que afectan la calidad y la cantidad de las cosechas (Espí *et al.*, 2006), se pueden usar para cambiar las relaciones de rojo a rojo lejano que detectan los fitocromos, las cantidades de radiación disponibles para activar los fotorreceptores azules / ultravioleta, la luz azul involucrada en las respuestas fototrópicas mediadas por fototropinas y la radiación en otras longitudes de onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Stamps, 2009), se sabe que el cultivo de hortalizas en invernaderos cubiertos con las denominadas películas térmicas (películas plásticas opacas a la radiación infrarroja (IR), especialmente entre 7 y 14 mm) proporcionan un mayor desarrollo vegetativo y dan como resultado cosechas más tempranas de mejor calidad y abundancia (Espí *et al.*, 2006), estudios realizados sobre estas innovadoras películas que influyen en la foto morfogénesis (De Salvador *et al.*, 2008) muestran un aumento significativo de las actividades vegetativas, especialmente el crecimiento de brotes, para los cultivos bajo tanto las películas fotoluminiscentes como las foto selectivas se comparan con los cultivos que crecen bajo películas de LDPE o en campo abierto. Las películas y acolchados pueden ser incoloras o pigmentadas: las películas negras minimizan el crecimiento de malas hierbas, lo que reduce el uso de agroquímicos; Las películas aluminizadas o blancas aumentan el reflejo de la luz hacia las partes bajas de las plantas otros colores se usan para efectos más selectivos, basados en el reflejo de ciertas longitudes de onda para la morfogénesis de las plantas o para atraer o repeler ciertos insectos (Espí *et al.*, 2006). Ilic *et al.* (2017) encontraron que todas las redes de sombra aumentan significativamente el IAF, en comparación con los valores de IAF obtenidos de las

plantas de control (túnel de plástico). En general el pimiento debajo de los túneles de plástico integrados con redes de sombra coloreadas tiene un IAF más alto en comparación con el IAF de la planta obtenido bajo condiciones a campo abierto (solo redes de colores). Las redes de sombra foto-selectivas proporcionan protección física contra el granizo y el viento, y también se ha demostrado que mejoran el crecimiento de las plantas, el rendimiento comercial y la calidad del producto en diferentes cultivos hortícolas (Shahak, 2008), el uso de redes de sombreado para el manejo de cultivos agrícolas se está convirtiendo en un método popular no químico y tiene como objetivo proporcionar protección física contra las condiciones climáticas (radiación solar excesiva y temperatura) o riesgos ambientales (viento y granizo) o aves e insectos que transmiten enfermedades virales, junto con la promoción de las respuestas fisiológicas deseadas relacionadas con la calidad de la luz (Phushdi *et al.*, 2013), el impacto positivo de una cobertura de red en el comportamiento de la planta puede explicarse principalmente por el microclima más favorable bajo una casa de malla que al aire libre (Kitta *et al.*, 2014), las redes de sombra de colores están siendo intensamente probadas principalmente debido a su capacidad para manipular los espectros de radiación que alcanzan los cultivos inferiores, obviamente, cuanto mayor sea el factor de sombra, mayor será la radiación bloqueada. (Stamps, 2009). Las redes de sombra foto-selectivas tienen la capacidad de modificar la calidad de la luz aumentando la proporción relativa de luz difusa (dispersa) y también mediante la absorción de diferentes bandas espectrales (Shahak *et al.*, 2008), la manipulación espectral de las redes de sombra de color tiene como objetivo promover específicamente las respuestas foto morfológicas / fisiológicas, mientras que la dispersión de la luz mejora la penetración de la luz en el dosel interior (Ilić *et al.*, 2017), los diferentes productos de red foto-selectivos proporcionan a las plantas luz modificada espectralmente, que se transmite a través de los hilos de plástico coloreados, mezclados con la luz natural no modificada que pasa a través de los agujeros de la

red. Como los hilos de color son translúcidos, su luz transmitida no solo está modificada espectralmente, sino que también está muy dispersa (difusa) (Basile *et al.*, 2014), la cantidad de PAR y la modificación de la calidad espectral pueden actuar como una herramienta fisiológica a través de las redes foto-selectivas para mejorar la calidad fitoquímica y los antioxidantes en las hojas frescas (Millicent *et al.*, 2016), además de afectar la cantidad de radiación, las redes pueden influir en la dirección de la radiación (Stamps, 2009), se descubrió que las redes rojas y amarillas estimulan específicamente la tasa de crecimiento vegetativo y el vigor del follaje y los cultivos de flor cortada, mientras que las redes azules causan enanismo, y las redes grises mejoraron la ramificación y la maleza, junto con la reducción del tamaño de la hoja y la variegación debido a su distinta absorción en el rango IR. Los efectos de las redes azules, amarillas y rojas resultan de su relativo enriquecimiento/reducción de las bandas espectrales azules, amarillas y rojas de la luz transmitida. Las redes perlas tienen la mayor capacidad de dispersión de la luz en el rango visible y también absorben la luz en el rango ultravioleta (UV Amarilla + Azul), por lo que se encuentra que mejor aumenta el tamaño y el rendimiento de la fruta en cultivos de frutales, así como la calidad postcosecha de productos frescos (Shahak, 2008; Goren *et al.*, 2011; Kong *et al.*, 2013; Alkalai-Tuvia *et al.*, 2014), el grosor del fruto del pericarpio es significativamente mayor en las plantas de los túneles de plástico cubiertos por redes de color, en comparación con el grosor del fruto del pericarpio en las plantas de las casas netas y el campo abierto. En las plantas de pimiento, el grosor del fruto del pericarpio es significativamente mayor en los pimientos de las redes rojas en comparación con el control y otros tratamientos (Ilić *et al.*, 2017).

Efecto de la radiación y la temperatura en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

El conocimiento del microclima es esencial para un manejo adecuado del cultivo. Se necesita suficiente radiación para la fotosíntesis, sin embargo, bajo radiación supra óptima las plantas pueden estar bajo estrés, cerrar sus estomas y reducir la producción (Tanny, 2013), el análisis de los efectos de las cubiertas foto-selectivas en la calidad de la fruta es muy complejo, porque la red puede afectar factores ambientales como la temperatura del aire, la cantidad y calidad de la luz (Basile *et al.*, 2008) y simultáneamente puede inducir respuestas foto morfogénicas tanto en el crecimiento vegetativo como reproductivo (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2008). La cobertura difusa del invernadero conduce a una mejor distribución de la luz, una temperatura más baja de la planta, una transpiración disminuida y un aumento de la fotosíntesis y el crecimiento (Al-Mahdouri *et al.*, 2013). Se ha demostrado que la luz difusa aumenta la eficiencia de uso de la radiación, los rendimientos (tanto a nivel de planta y ecosistema), e incluso es un factor que afecta la floración (tiempo y cantidades) (Gu *et al.*, 2002; Ortiz *et al.*, 2006). La influencia de la calidad de la luz sobre la morfología de las plantas comprende múltiples respuestas, entre las cuales las que se basan en la elongación del tallo, la expansión de la hoja y el ángulo de la hoja son importantes (Dueck *et al.*, 2016). Los procesos vegetativos tales como el crecimiento de brotes y hojas, el desarrollo del aparato fotosintético, la actividad reproductiva como el inicio de brotes florales, la floración y la fructificación están influenciados por el fotorreceptor fitocromo, un pigmento proteínico azul verdoso (Smith 1982; Rajapakse 1999), involucrada en las respuestas fototrópicas mediadas por fototropinas y la radiación en otras longitudes de onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Stamps, 2009). Millicent *et al.*, 2016 afirman que las hojas frescas de cilantro obtenidas de plantas producidas debajo de las redes perladas y rojas tenían un aroma típico máximo, mientras que

las plantas producidas debajo de las redes negras tenían un aroma menos típico, los árboles con doseles demasiado grandes y densos, a pesar de su alta capacidad de interceptación total de luz, se caracterizan por una baja permeabilidad a la luz y por una distribución desigual de la luz dentro del dosel y esto puede afectar negativamente el rendimiento y la calidad del fruto (Basile *et al.*, 2014), la germinación de semillas es un evento crucial en la vida de las plantas. Está altamente regulado por factores ambientales. Entre ellos, la temperatura y la luz son de particular importancia para garantizar un proceso exitoso (Demotes *et al.*, 2016), un trastorno fisiológico es la descomposición del tejido que no es causada por la invasión de patógenos ni por daños mecánicos, sino que se desarrolla debido a un entorno adverso, especialmente temperatura extrema o a una deficiencia nutricional durante el crecimiento y el desarrollo (Ilić *et al.*, 2017), la exposición de la fruta a la luz solar puede modificar el potencial hídrico de la fruta directamente y hacer que la piel se agriete como resultado del calentamiento de la superficie de la fruta. Las frutas cultivadas en el campo expuestas a la luz solar tienen más del doble de probabilidades de desarrollar grietas que las frutas sombreadas (Ilić *et al.*, 2012), muchos procesos fisiológicos de las plantas, como la germinación, la floración, la polinización, el cuajado y la maduración, están relacionados con la temperatura y la humedad (Lewis, 2017), la alta temperatura junto con la alta irradiación contribuye a la maduración de la fruta manchada o irregular. El espectro de la luz transmitida influye en el crecimiento de la fruta al afectar la proliferación celular y la maduración de la fruta, y por lo tanto cambia las percepciones sensoriales de la apariencia, el sabor y la textura de la fruta. (Ilić *et al.*, 2017), el uso de películas plásticas para cubrir huertos es importante porque el tiempo de maduración puede acelerarse o retrasarse en función de la demanda del mercado, mientras que la calidad de la fruta (color, contenido de azúcar, etc.) puede mejorarse (Al-Mahdouri *et al.*, 2013). Las frutas expuestas a altos niveles de radiación directa pueden sufrir quemaduras solares que reducen

significativamente el rendimiento comercializable (Tanny, 2013), Mashabela *et al.*, 2015 afirman que la notable pérdida de firmeza de la fruta se debe a la mayor exposición de la intensidad de la luz (cantidad PAR) asociada con el aumento de la temperatura superficial de la fruta. El sombreado extremo también puede deteriorar la producción y el rendimiento debido a la escasez de luz (Hemming, 2011), los efectos beneficiosos del sombreado, el aumento del rendimiento comercial y la reducción de la quema del sol se asocian con una reducción de la temperatura de la luz, el aire y el suelo, que da como resultado un alivio del estrés por calor en las plantas (Díaz-Pérez, 2014). El ambiente seco dentro del túnel alto mantiene seco el dosel de la planta y reduce algunos problemas de enfermedades y malezas. (Lewis, 2017), Millicent *et al.*, 2015 no observaron diferencias significativas en la longitud del fruto, el diámetro y el grosor del pericarpio entre los tratamientos red perla y red negra durante la temporada de cosecha. Se obtuvieron resultados similares para el color de la superficie de la fruta en la claridad y el ángulo de matiz, sin embargo, la piel de las frutas de la red Pearl fue más apagada en las dos últimas cosechas, en comparación con las de la red negra.

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 difuso de alta densidad (180 micras de espesor).

Establecimiento del cultivo

Para el estudio se utilizó un cultivo de chile morrón (*Capsicum annuum L.*) variedad consul tipo California, color amarillo-limón en maduración. 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 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 de metomilo y dos de tiametoxam+clorantraniliprol a 500 ml/ha, con una frecuencia de 15 días para el control de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius).

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 Sylicon 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). El índice de área foliar (IAF) se estimó a partir de muestras cortadas de plantas representativas de cada túnel a intervalos de 15 días entre las 12:00 y las 14:00 h durante el ciclo de crecimiento de mayo a septiembre 2016. En cada fecha de muestreo, se recolectaron 3 tres hojas por planta en el centro de cada túnel con las mismas condiciones, edad, y turgencia. Las hojas se cortaron y se midieron *in situ* a través de un medidor de área (Modelo LI-3100, Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska). A la misma frecuencia, también se midió la longitud y diámetro del tallo, 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).

Análisis estadístico

Las variaciones en la radiación fotosintéticamente activa (PAR) transmitida y diferencias en la temperatura del aire dentro de cada túnel bajo cada cubierta (promedios de 30 min) a través del ciclo de desarrollo del cultivo, se compararon usando la prueba de comparación de medias de tukey ($\alpha \leq 0.05$) 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, y crecimiento de las plantas se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con submuestreo 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 comparó entre el total obtenido en cada túnel entre si donde el tamaño de las poblaciones fueron los cinco cortes

realizados y la comparación de medias se realizó con la prueba de tukey ($\alpha \leq 0.05$) en función de la normalidad de los datos, analizados con el software R de Rstudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Propiedades espectrales de las cubiertas.

En la Figura 1 se muestra como la PAR que se transmite a través de las cubiertas estudiadas cambia en el rango de longitudes de onda para cada cubierta: el polietileno difuso de alta densidad tiene una transmisividad baja de 400-500 nm con un punto de máxima transmisividad cerca de 480 nm, de 500-600 nm y tiene un punto de máxima transmisividad cerca de 580 nm y otro punto de máxima transmisividad cerca de 600 nm, de 600-700 nm con su punto de máxima transmisividad cerca de 660 nm y un punto más en 700 nm, el policarbonato celular azul tiene una transmisividad media de 400-500 nm con su punto de máxima transmisividad cerca de 480 nm, de 500-600 nm tiene un punto de máxima transmisividad cerca de 500 nm y el mínimo cerca de 580 nm y otro punto de mínima transmisividad cerca de 600 nm, en el rango de 600-700 nm el punto de máxima transmisividad está cerca de 700 nm, el policarbonato celular rojo tiene una transmisividad nula de 400-550 nm, entre 550-700 nm su punto de máxima transmisividad cerca de los 660 nm. El policarbonato celular traslucido tiene la transmisividad más alta entre todas las cubiertas de los 400-500 nm teniendo su punto de máxima transmisividad uno cerca de 480 nm, de 500-600 nm con un punto de máxima transmisividad cerca de 580 nm y otro punto de máxima transmisividad cerca de 600 nm, de 600-700 nm con su punto de máxima transmisividad cerca de 660 nm y un punto más en 700 nm. La PAR transmitida a través estas cubiertas plásticas de los túneles que depende del material y el color con el que el túnel este cubierto genera cambios en la morfología, fisiología y fructificación de las plantas de pimiento morrón.

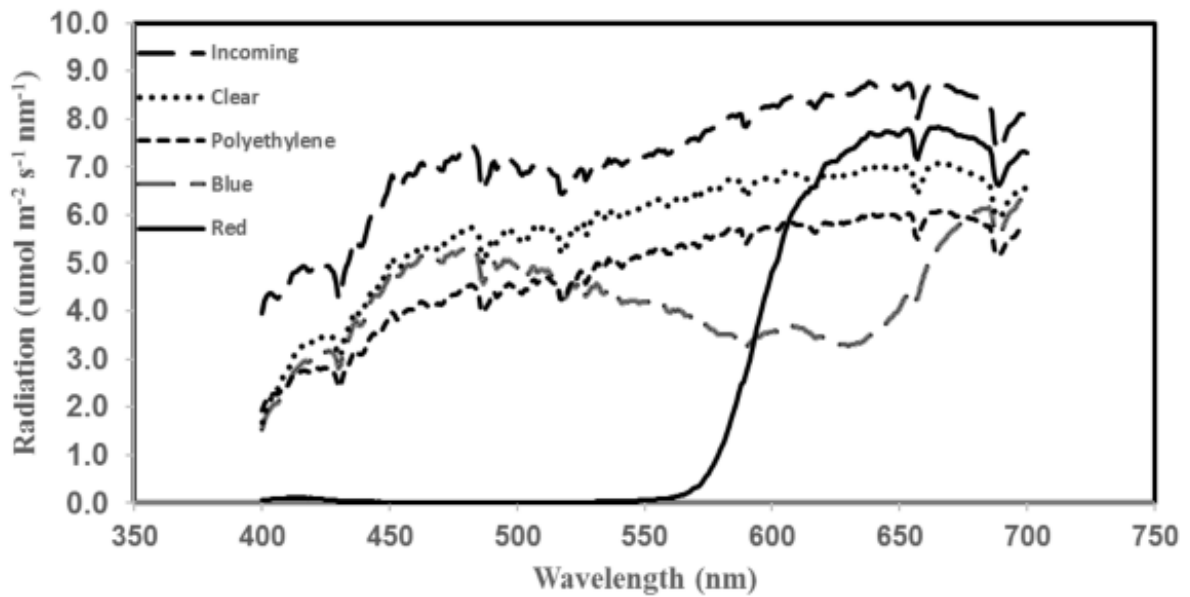


Figura 1. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) incidente a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas de polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo al interior de los tunes, a diferentes longitudes de onda y en condiciones de cielo totalmente despejado.

Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) incidente y transmitida a través de las cubiertas los túneles.

En la Figura 2 describe como La radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente para todos los meses alcanza un valor máximo aproximado de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en cada uno de los meses del experimento a campo abierto, los valores de transmisividad alcanzados durante el día al interior de los túneles muestran como el policarbonato celular traslucido en mayo alcanza un PAR máximo de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en junio un máximo de $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$, en julio un máximo de $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$, en agosto un máximo de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$, las cubiertas

de polietileno de alta densidad y policarbonato azul tienen una fluctuación similar en todos los meses ya que de las 08:00 hasta las 14:horas la transmisión más alta en el polietileno de alta densidad y después de las 14:00 horas hasta las 19:00 horas lo es en el policarbonato celular color azul, los máximos fluctúan entre los 1000 y 1200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, la cubierta de policarbonato celular color rojo se comporta igual para todos los meses, esto porque transcurso del día ninguna alcanza los 500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{nm}^{-1}$. Cabe recordar que son valores promedio de PAR, lo que significa que hay áreas dentro del invernadero con un nivel PAR más alto o más bajo en todos los casos (Baxevanou *et al.*, 2017). En el Cuadro 5 describe como el valor PAR integrado mensual es superior en el policarbonato celular translucido esto debido a la mayor transmisividad mostrada por este material, mientras el polietileno de alta densidad y el policarbonato celular azul muestran cantidades similares con diferencias pequeñas entre uno y otro siendo mayores en el polietileno de alta densidad, esto debido a que el policarbonato azul transmite menos PAR de los 530-680 nm de longitud de onda. Mientras el policarbonato rojo muestra las cantidades más bajas ya que este tiene una nula transmisión PAR de 400-500 nm y solo absorbe transmite el espectro de luz visible rojo 660nm. Phushdi *et al.*, 2013 en un experimento con cubierta con cubiertas foto-selectivas (perla amarilla y roja) y una cubierta negra (de control) sobre plantas de tomate informo que la PAR fue más alto debajo de las cubiertas negras (control) y más bajo debajo de las cubiertas rojas. Abdel-Ghany, 2011 indicó que el sistema de invernadero puede utilizar el 75% de la radiación solar incidente por absorción en la cubierta, las plantas y el suelo y el 25% se pierde fuera del invernadero. Para un incidente de radiación solar integrada de aproximadamente 27.7 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, el invernadero cubierto con polietileno transmitió 20.7 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ donde 46% de la radiación se convirtió en calor latente por evapotranspiración y el 54% en calor sensible agregado al aire de invernadero.

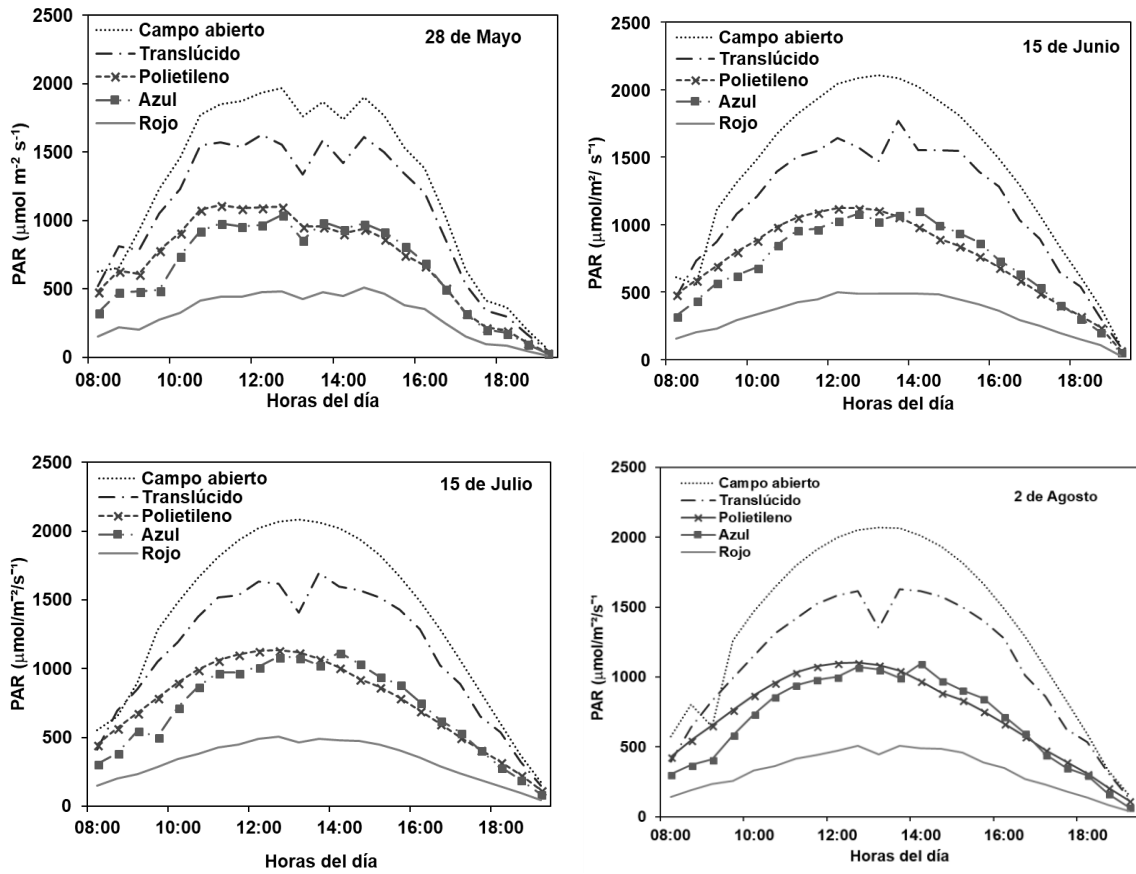


Figura 2. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) que incide (campo abierto) y la que se transmite a través de las cubiertas polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo en un día totalmente despejado para los meses del ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

Cuadro 5. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) integrado total mensual (mol m^{-2}), durante el día (08:00 a 19:00 h) a campo abierto y la que se transmite a través de las cubiertas polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, translucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

| | AZUL | TRANSLUCIDO | CAMPO ABIERTO | ROJO | POLIETILENO |
|------------|-------|-------------|---------------|-------|-------------|
| MAYO | 19.97 | 32.29 | 38.42 | 9.36 | 20.86 |
| JUNIO | 26.53 | 42.6 | 52.08 | 12.35 | 28.31 |
| JULIO | 26.3 | 42.56 | 52.49 | 12.45 | 28.57 |
| AGOSTO | 22.2 | 35.56 | 45.18 | 10.57 | 23.77 |
| SEPTIEMBRE | 18.15 | 28.13 | 39.92 | 8.61 | 20.49 |

Temperatura del aire diurna y nocturna en campo abierto y al interior de los túneles

En la Figura 3 se observa como al comenzar el día 08:00 horas, el túnel de policarbonato translucido en casi todos los meses comienza con una temperatura más alta, por la tarde es mayor la temperatura en el túnel azul en los meses de junio y agosto en el periodo de tiempo de las 12:00 a las 16:00 horas se da el caso contrario, mientras en el resto del día la temperatura en el túnel translucido es mayor. En cuanto al comportamiento de la temperatura del aire en el interior del túnel y de polietileno son similares conforme transcurre el día siendo más bajas que los túneles de policarbonato azul y después de las 16:00 horas la temperatura es mayor bajo la cubierta polietileno, esto demuestra que hay un aumento significativo de temperatura dentro de los túneles debido a su material de cubierta en comparación a la temperatura a campo abierto, Lewis, 2017 afirma que debido a un volumen de aire cerrado mayor, los túneles más grandes no pierden calor radiante tan rápido durante la noche y tienden a no aumentar la temperatura tan

rápidamente durante el día. Esto se puede corroborar con los datos de temperatura del aire promedio mensual diurna en el interior de los túneles en el Cuadro 6, que muestran que la temperatura más alta se encontró en el interior de los túneles azul y translucido, con diferencias de 3-7 °C con referencia a la temperatura a campo abierto, mientras la temperatura del aire al interior de los túneles rojo y de polietileno mostraron diferencias de 2-5 °C con referencia a la temperatura a campo abierto ya que Los túneles pueden presentar fluctuaciones extremas de temperatura durante un período de 24 horas (Lewis, 2017).

Analizando la Figura 4 se observa que en cuanto a la temperatura nocturna las temperaturas se comportaron igual durante el transcurso de la noche en los túneles azul, translucido, mientras en el túnel rojo la temperatura fue mayor que en los antes mencionados. En todos ellos la temperatura del aire en su interior fue mayor a la observada a campo abierto. En contraste el túnel de polietileno tuvo enfriamiento en el transcurso de la noche haciendo que la temperatura fuera menor que la temperatura en campo abierto en todos los meses.

Por ello se afirma que el túnel cubierto por polietileno de alta densidad es el que menos se calienta durante el día y tiene mayor enfriamiento durante la noche con relación a la temperatura al campo abierto durante la noche, en base a datos de temperatura del aire promedio mensual nocturna en el interior de los túneles en el Cuadro 7 que muestran que los que conservan más calor en su interior en el transcurso de la noche y una temperatura diurna más alta son los túneles de policarbonato celular, con diferencias alrededor de 1°C en comparación a campo abierto, debido a que los paneles de invernadero de policarbonato en una configuración de múltiples paredes proporcionan excelentes propiedades de aislamiento térmico (Churchill, 2011), mientras la temperatura del aire al interior del túnel de polietileno sufre una pérdida de alrededor de 1 °C con referencia a la temperatura a campo abierto. Basile *et al.*, 2014 en un cultivo de

kiwi afirman que las cubiertas azules, rojas y grises disminuyeron ligeramente la temperatura promedio del aire en la vecindad de la vid, en comparación con las condiciones sin red. Por lo tanto, las temperaturas medias diarias (promedio de 24 h) bajo las cubiertas azul, roja y gris fueron 0.1-0.9 °C más bajas que el control sin red. Por otro lado, la temperatura del aire bajo la red blanca fue muy similar a las condiciones de campo abierto (± 0.4 °C). Baxevanou *et al*, 2017 observaron que durante el día de verano la temperatura en la base de las plantas está menos influenciada por la corriente de aire que ingresa y por la radiación solar incidente y depende fuertemente de la tierra y la capacidad de calor específica del invernadero. Estudios previos han demostrado que las temperaturas excesivas del aire frío en la noche reducen los rendimientos comercializables debido a varios trastornos fisiológicos que incluyen hinchazón del ovario, reducción de la viabilidad del polen, estambres más cortos, forma anormal del pétalo (Polowick y Sawhney, 1985). Zambrano-Vaca *et al.*, 2016 señalan que es muy necesario investigar sobre nuevos materiales y mejorar el diseño de la estructura para proporcionar una mejor ventilación en los meses de verano y protección contra el frío durante el invierno y las primeras temporadas de primavera.

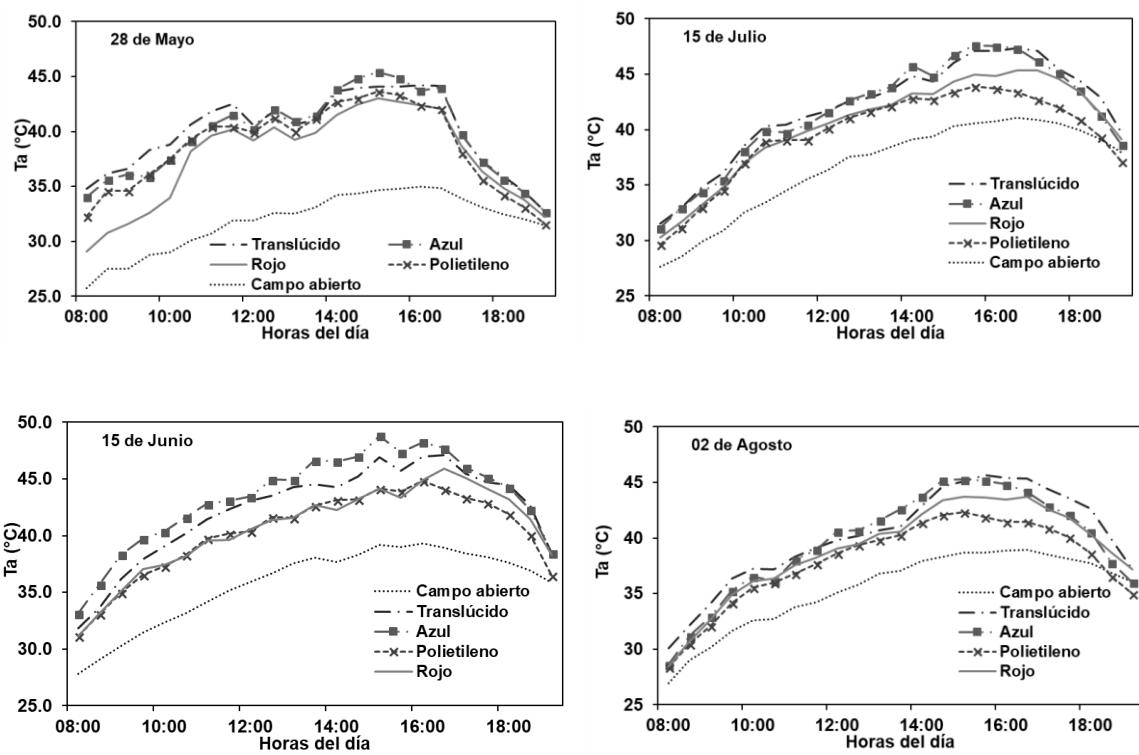


Figura 3. Temperatura del aire diurna a campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul, translúcido y rojo, en condiciones de cielo totalmente despejado para los meses del ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

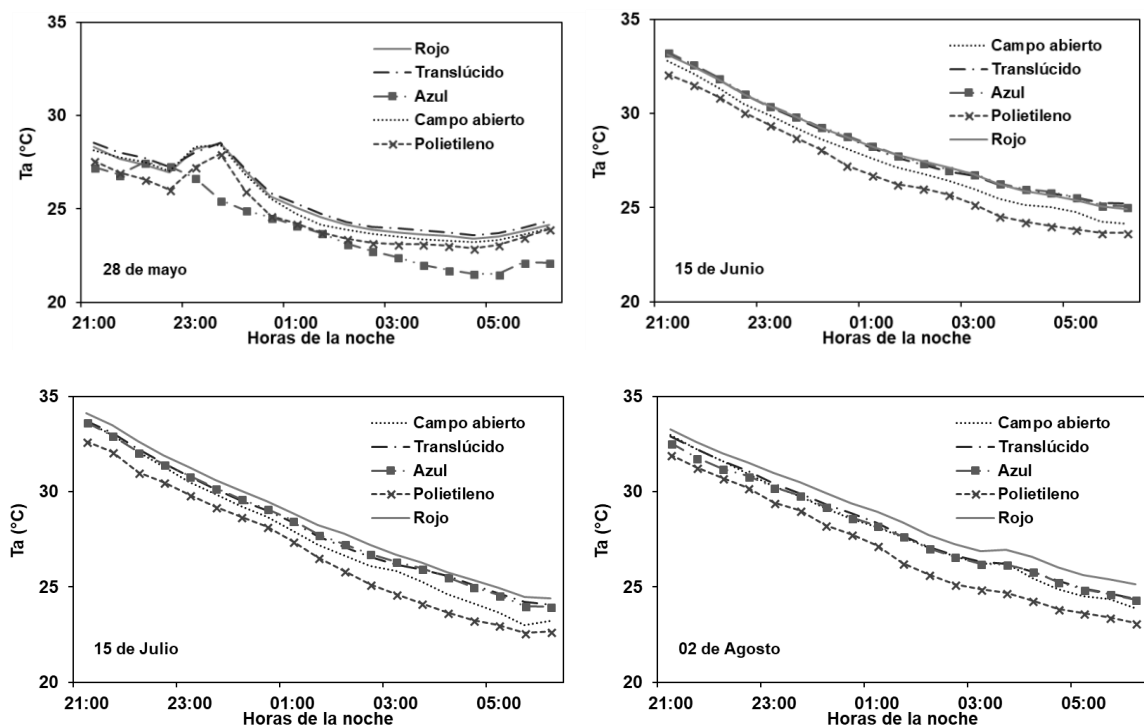


Figura 4. Temperatura del aire nocturna en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul, translúcido y rojo, para los meses del ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

Cuadro 6. Temperatura del aire (°C) promedio mensual diurna de las 08:00 a las 19:00 h en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

| | AZUL (°C) | TRANSLUCIDO (°C) | CAMPO ABIERTO (°C) | ROJO (°C) | POLIETILENO (°C) |
|------------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------|---------------------|
| JUNIO | 39.57 | 38.97 | 32.74 | 37.54 | 37.70 |
| JULIO | 40.06 | 41.09 | 35.08 | 39.03 | 38.46 |
| AGOSTO | 35.99 | 36.82 | 32.49 | | 35.25 |
| SEPTIEMBRE | 34.15 | 34.76 | 31.06 | | 33.69 |

Cuadro 7. Temperatura del aire (°C) promedio mensual nocturna de las 21:00 a las 06:00 h en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo, en el ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

| | AZUL (°C) | TRANSLUCIDO (°C) | CAMPO ABIERTO (°C) | ROJO (°C) | POLIETILENO (°C) |
|------------|--------------|---------------------|-----------------------|--------------|---------------------|
| JUNIO | 25.60 | 25.59 | 24.87 | 25.56 | 24.37 |
| JULIO | 27.98 | 27.99 | 27.58 | 28.37 | 26.85 |
| AGOSTO | 26.71 | 26.78 | 26.48 | | 25.92 |
| SEPTIEMBRE | 24.77 | 24.84 | 24.49 | | 24.06 |

Relación entre Temperatura del aire y la Radiación Fotosintéticamente Activa en campo abierto y al interior de los túneles

Las cubiertas, independientemente del color, tienen el potencial de reducir la cantidad de radiación que llega a los cultivos debajo; cuanto mayor sea el factor de sombreado, más se bloqueará la radiación. La reducción en la radiación que resulta afectará las temperaturas (aire, planta, suelo) y la humedad relativa (Sivakumar y Jifon, 2018). En la Figura 4 se puede observar como la PAR transmitida a través de las cubiertas en la temperatura del aire en el interior del túnel. Teniendo en cuenta que el valor en la ordenada al origen indica que el túnel inicialmente ya está más caliente antes de la salida del sol debido a su aislamiento térmico en la noche. La inclinación de las pendientes de cada cubierta indican los efectos térmicos de PAR siendo al interior del túnel cubierto por policarbonato rojo el mayor, ya que permite la entrada de PAR más baja y se observa una relación más marcada por unidad PAR en la temperatura del aire, En el policarbonato translucido la PAR transmitida tiene un efecto menor debido a que ingresan cantidades muy altas, por ello para causar un aumento en la temperatura son necesarias más unidades PAR debido a su coloración. Bajo el policarbonato azul se observa una temperatura que compara al túnel traslucido, la diferencia radica en la menor cantidad de PAR que transmite, tomando en cuenta que las cubiertas de policarbonato pierden menos temperatura durante la noche al interior del túnel. Bajo el polietileno de alta densidad hay un efecto ya que el plástico blanco refleja gran parte de la luz del sol, lo que resulta en temperaturas interiores más frías (Hannan, 1998).

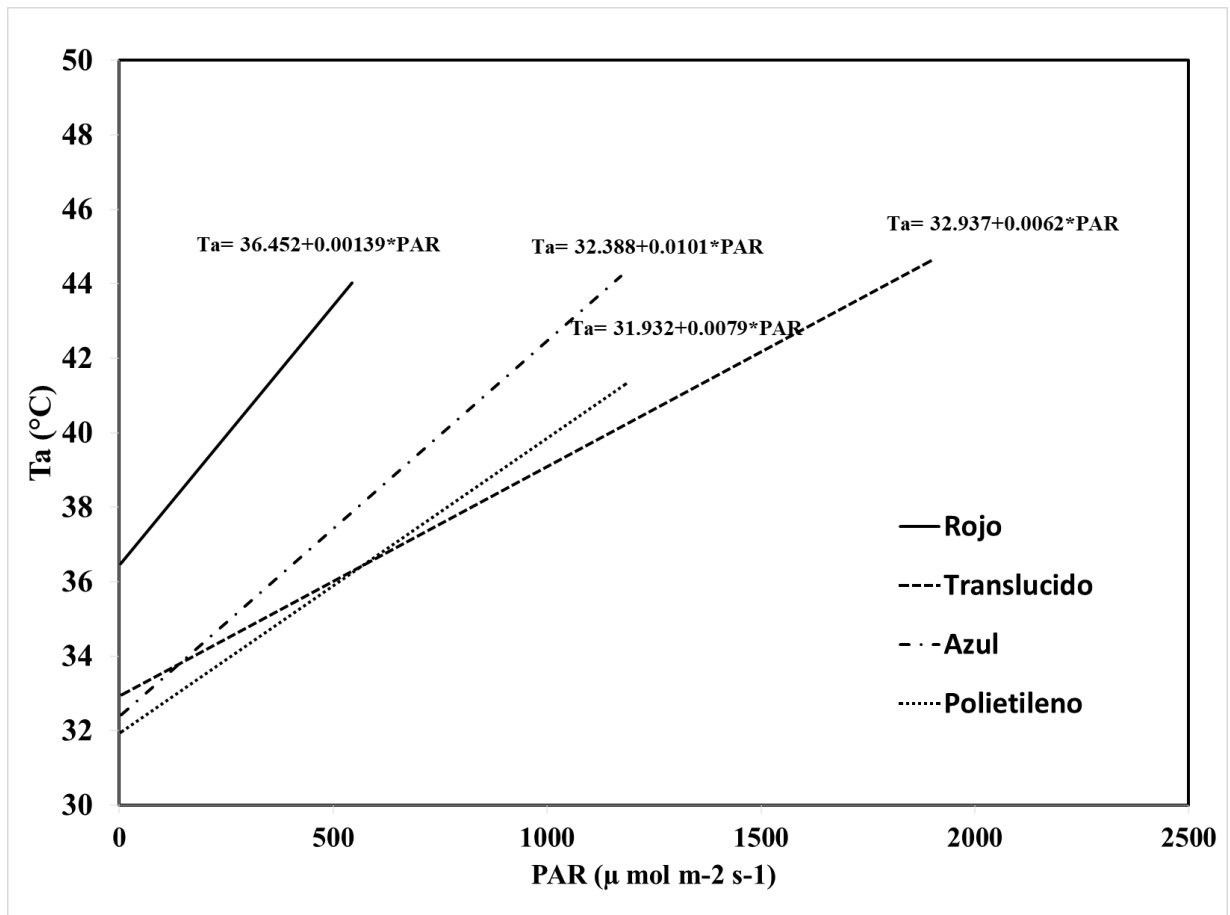


Figura 5. Funciones de correlación entre Temperatura del aire (T_a) y Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) durante el día de las 08:00 a las 19:00 horas en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo, para el ciclo del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.).

Contenido de clorofila en las hojas

El fitocromo existe en dos formas químicas interconvertibles: la forma inactiva absorbe radiación sobre todo en las longitudes de onda rojas (620-700 nm), mientras que la forma activa absorbe la radiación roja lejana (700-760 nm). La luz roja es importante para el desarrollo del

aparato fotosintético y puede aumentar la acumulación de almidón en varias especies de plantas al inhibir la translocación de la fotosíntesis de las hojas (Saebo *et al.*, 1995), la luz azul es importante para el desarrollo de los cloroplastos, la formación de clorofila y la apertura de los estomas (Senger, 1982), en el Cuadro 8 se muestra como el contenido de clorofila de las hojas solo el día 14 de julio es igual entre los datos obtenidos de las plantas al interior de los túneles cubiertos con policarbonato translucido y el polietileno mostrando las menores concentraciones de unidades SPAD, y en los días 13 de mayo, 10 de junio, 12 de agosto y 9 de septiembre no se encuentran diferencias en las mediciones realizadas, todas las mediciones fueron realizadas a mediodía ya que la fotosíntesis de los cultivos tiene poca luz en la mañana y en la tarde cuando los niveles de radiación están muy por debajo del punto de saturación de la luz de la hoja (Möller *et al.*, 2010). El exceso de energía radiante predispone a las plantas el estrés por calor y el cierre de los estomas, lo que resulta en una reducción de la fotosíntesis neta (P_n), la principal fuente de sustrato de carbohidratos para el crecimiento. (Sivakumar y Jifon, 2018) El estudio de los efectos de la luz en el ciclo celular se ha llevado a cabo extensamente en algas verdes unicelulares (clorofitas). Estos estudios han demostrado que la luz en la región azul (400-500 nm) inhibe la división celular en *Protosiphon botryoides* (Nishihama y Kohchi, 2013).

Cuadro 8. Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) en las hojas de un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo.

| | 13 DE MAYO | 10 DE JUNIO | 14 DE JULIO | 12 DE AGOSTO | 09 DE SEPTIEMBRE |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| CAMPO ABIERTO | 47.23 ^a | 47.2 ^a | 46.28 ^a | 46.26 ^a | 46.46 ^a |
| AZUL | 47.16 ^a | 47.16 ^a | 45.80 ^a | 45.50 ^a | 48.23 ^a |
| ROJO | 45.98 ^a | 45.98 ^a | 46.35 ^a | 46.83 ^a | 48.61 ^a |
| POLIETILENO | 47.10 ^a | 47.10 ^a | 44.96 ^{ab} | 45.91 ^a | 48.38 ^a |
| TRANSLUCIDO | 47.76 ^a | 47.76 ^a | 43.55 ^b | 47.83 ^a | 48.56 ^a |

Altura de planta y área foliar

El túnel crea un microambiente de elevado CO₂, afecta el suelo y la temperatura del aire que a su vez afectan el desarrollo de la planta y expanden efectivamente el período de crecimiento y comercialización de muchos cultivos, la interceptación de la luz no solo es una función de la longitud total del disparo y del tipo de brote producido, sino también de otros factores como el tamaño de la hoja y las altas temperaturas sostenidas (35-40 °C) como resultado de la alta radiación solar, también pueden afectar la división celular, la expansión foliar y el desarrollo reproductivo, (Basile *et al.*, 2014). Los Cuadros 9 y 10 describen las diferencias existentes entre la evolución de la altura de la planta medida desde el nivel de los medios de cultivo hasta la hoja superior expandida más recientemente en la punta del punto de crecimiento (Zambrano-Vaca *et*

al., 2016) y área foliar que se determinó por hoja y se obtuvo un IAF de 0.56. siendo estas menores en las plantas en campo abierto debido a la falta de una cubierta de protección y la exposición a las fluctuaciones extremas de las condiciones ambientales y la incidencia de plagas, seguidas de las plantas en el túnel de policarbonato translucido este resultado se debe principalmente afectado por la alta temperatura del aire. Ya que el pimiento Morrón disminuye su crecimiento vegetativo con las altas temperaturas, en cambio una capa de polietileno simple o doble proporciona un microclima estable para el crecimiento del cultivo (Lewis, 2017), por lo cual las plantas bajo esta cubierta muestran una altura mayor debido a que PAR de diversas longitudes de onda y la hace más difusa, lo que aumenta la calidad y el rendimiento de los cultivos y por ello los nutrientes son en mayor proporción ocupados para la fructificación y menor para el crecimiento de la planta, también se vio beneficiado por la temperatura del aire que es menor que en los túneles cubiertos con policarbonato, en el túnel azul el crecimiento de la planta se vio afectado por la PAR transmitida que mejora el crecimiento foliar, el efecto de la temperatura pudo haber causado que el área foliar y la altura de las plantas fuera menor que en el túnel rojo ya que en este se observaron temperaturas iguales al translucido, las plantas con mayor altura y área foliar se encontraron en el túnel de policarbonato color rojo donde el PAR transmitido al interior del túnel es de 660 nm que promueve el desarrollo de foliar al provocar una competencia de asimilación de nutrientes entre el follaje y el fruto, promueve brotes más verticales, observándose el mayor desarrollo de altura y área foliar las plantas al interior del túnel de policarbonato rojo, mientras las plantas bajo el color azul mostraron una área foliar muy próxima a las antes mencionadas y altura similar a las plantas al interior de los túneles de polietileno de alta densidad y policarbonato translucido que obtuvieron datos parecidos.

Cuadro 9. Desarrollo de la altura de plantas (cm) en un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo.

| | 13 DE MAYO | 10 DE JUNIO | 14 DE JULIO | 12 DE AGOSTO | 09 DE SEPTIEMBRE |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| ROJO | 60.66 ^a | 60.66 ^a | 102.21 ^a | 132.50 ^a | 160.16 ^a |
| AZUL | 55.66 ^a | 55.66 ^a | 86.51 ^b | 116.33 ^b | 138.50 ^{ab} |
| POLIETILENO | 48.66 ^b | 48.66 ^b | 83.46 ^b | 106.00 ^b | 114.66 ^{bc} |
| TRANSLUCIDO | 43.16 ^c | 43.16 ^c | 65.80 ^c | 88.66 ^c | 101.66 ^{cd} |
| CAMPO ABIERTO | 18.00 ^d | 18.00 ^d | 38.76 ^d | 58.50 ^d | 81.66 ^d |

Cuadro 10. Desarrollo de área foliar de plantas (cm²) en un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, translucido y rojo.

| | 13 DE MAYO | 10 DE JUNIO | 14 DE JULIO | 12 DE AGOSTO | 09 DE SEPTIEMBRE |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ROJO | 103.82 ^a | 103.82 ^a | 118.28 ^a | 145.09 ^a | 121.57 ^a |
| AZUL | 100.99 ^a | 100.99 ^a | 76.95 ^b | 94.14 ^b | 105.17 ^a |
| POLIETILENO | 88.97 ^a | 88.97 ^a | 78.40 ^b | 68.17 ^{bc} | 72.35 ^b |
| TRANSLUCIDO | 85.02 ^a | 85.02 ^a | 62.24 ^{bc} | 64.30 ^{cd} | 69.67 ^b |
| CAMPO ABIERTO | 29.57 ^b | 29.57 ^b | 47.07 ^c | 40.07 ^d | 39.96 ^c |

Rendimiento de frutos

En el Cuadro 11 se muestra como que el mayor rendimiento de frutos se observó en el interior del túnel cubierto con polietileno (131.45 kg), porque el microclima generado es mejor, esto debido las propiedades de transmisividad, difusividad y espectro de PAR y que la temperatura diurna sea más fresca, y disminuya la temperatura nocturna en el interior del túnel dando como resultado mejores rendimientos. En cuanto a la transmisión de PAR, el rendimiento dentro del túnel cubierto policarbonato celular azul (67.3 kg) se vio afectado positivamente por la transmisión de PAR que se ve mejorado y desarrolla gran cantidad de follaje ya que los nutrientes se reparten en crecimiento foliar y desarrollo de frutos, el policarbonato celular translucido dio como resultado un rendimiento de (78.15 kg) ya que al haber presencia de las diversas longitudes de onda que afectan positivamente el desarrollo y fructificación de la planta

dando como resultado un buen rendimiento de frutos al no generarse competencia por los nutrientes, se ha demostrado que los rendimientos de los cultivos son más altos bajo policarbonato difusor de luz (Berghage, 2017), en ambos túneles de policarbonato el rendimiento se vio afectado por las altas temperaturas durante el día que era mayores en comparación con los túneles rojo y de polietileno, causando una diferencia muy marcada de rendimiento en relación con el túnel cubierto con polietileno, el rendimiento más bajo fue obtenido en el túnel cubierto por policarbonato celular rojo (13.7 kg) debido a que solo transmite PAR al interior del túnel de 660 nm (región espectral rojo), y a esta longitud de onda se inhibe el crecimiento de frutos y se vigoriza el desarrollo foliar que a su vez se vio favorecido con la temperatura más fresca en el interior del túnel. En Campo abierto (24.2 kg) el rendimiento se vio afectado porque las plantas fueron expuestas a los cambios de temperatura y a las fluctuaciones del PAR incidente total lo que provoco los bajos rendimientos. La intensidad de la luz y la temperatura impactan significativamente en la acumulación de azúcar en los cultivos de frutas (Selahle *et al.*, 2015), Phushdi *et al.*, 2013 afirman que las temperaturas más frías (bajo cubiertas negras) favorecieron la acumulación de ácidos en frutos de tomate que las temperaturas más altas (cubiertas amarillas). Los pimientos verdes (HTSP-5) cultivados bajo la cubierta perla foto selectiva y las cubiertas rojas mostraron un mayor porcentaje de frutas comercializables después del almacenamiento postcosecha (Mashabela *et al.*, 2015), Basile *et al.*, 2014 sugieren que los frutos de vides bajo cubiertas rojas y grises pueden haber experimentado una mayor competencia de fruta a brote en comparación con los de los otros tratamientos. Zambrano-Vaca *et al.*, 2016 afirman que la fruta no comercializable puede deberse a las altas temperaturas del aire dentro de los túneles, que estaban por encima de la temperatura óptima para el cuajado del pimiento.

Cuadro 11. Rendimiento de frutos (kg/túnel) en un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), en campo abierto y al interior de los túneles con cubiertas de: polietileno de alta densidad blanco, policarbonato azul, traslucido y rojo.

| NUMERO DE COSECHA | POLIETILENO (KG/TÚNEL) | TRANSLUCIDO (KG/TÚNEL) | AZUL (KG/TÚNEL) | ROJO (KG/TÚNEL) | CAMPO ABIERTO (KG/TÚNEL) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | 5.25 | 1.02 | 2.96 | 0 | 1.37 |
| 2 | 40.36 | 8.55 | 12.33 | 1.48 | 2.91 |
| 3 | 25.50 | 1.94 | 4.74 | 1.70 | 1.19 |
| 4 | 19.85 | 11.03 | 10.57 | 0.40 | 2.44 |
| 5 | 40.48 | 55.60 | 36.69 | 10.11 | 16.33 |
| TOTAL | 131.45 | 78.15 | 67.3 | 13.69 | 24.25 |

CONCLUSIONES

La nula transmisividad de 400 a 550 nm del policarbonato rojo limita el crecimiento y desarrollo de los frutos. Bajo el polietileno difuso de alta densidad, se tiene una menor temperatura diurna y nocturna que, aunado a una mayor difusividad de la radiación fotosintéticamente activa, resulta en un mayor rendimiento de frutos, que el obtenido con el policarbonato rojo, azul y translucido.

BIBLIOGRAFÍA CITADA.

- Abdel-Ghany A.M., 2011, Solar energy conversions in the greenhouses, *Sustainable Cities and Society*, 1:219-226.
- A.M. Abdel-Ghany, I.M. Al-Helal, 2011, Solar energy utilization by a greenhouse: General relations, *Renewable Energy*, 36:189-196.
- Al-Helal I.M., A.M. Abdel-Ghany, 2011, Energy partition and conversion of solar and thermal radiation into sensible and latent heat in a greenhouse under arid conditions, *Energy and Buildings*, 43:1740-1741.
- Alkalai-Tuvia S., A. Goren, Y. Perzelan, T. Weinberg, E. Fallik, 2014, The influence of colored shade nets on pepper quality after harvest – a possible mode-of-action, *Agric. For*, 60:7-18.
- Al-Mahdouri A., M. Baneshi, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama, 2013, Evaluation of optical properties and thermal performances of different greenhouse covering materials, *Solar Energy*, 96: 21-32.
- Basile B., M. Giaccone, C. Cirillo, A. Ritieni, G. Graziani, Y. Shahak, M. Forlani, 2012, Photo-selective hail nets affect fruit size and quality in Hayward kiwifruit, *Scientia Horticulturae*, 141: 91-97.
- Basile B., M. Giaccone, Y. Shahak, M. Forlani, C. Cirillo, 2014, Regulation of the vegetative growth of kiwifruit vines by photo-selective anti-hail netting, *Scientia Horticulturae*, 172: 300-307.
- Baxevanou C., D. Fidaros, T. Bartzanas, C. Kittas, 2017, Yearly numerical evaluation of greenhouse cover materials, *Computers and Electronics in Agriculture*.

- Berghage R., 2017, *Plastics in Greenhouse Production, A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture*, 7:117-128.
- Candido, V., V. Miccolis, A. Rivelli, 2009, Performance traits and efficiencies of water and nitrogen use of pepper grown in plastic greenhouses, *Italian Journal of Agronomy* , 4: 91-100.
- Claveria Cigarrero Gloria Liliana, 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.) híbrido cónsul tipo California, Tesis de maestría, UAAAN, Saltillo, Coahuila, 15.
- Churchill, T., 2011. Rigid-plastic glazing, *Greenhouses and Equipment*, 1: 32–35.
- Del Ángel M., A. Zermeño, A. Melendres, S. Campos, M. Cadena, Del Bosque, 2017, Characteristics of a tunnel cover effect on radiation, chlorophyll and zucchini yield, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8:1127-1142.
- Demotes-Mainard S., T. Péron, A. Corot, J. Bertheloot, J.L. Gourrierc, S. Pelleschi-Travier, L. Crespel, P. Morel, L. Huché-Thélier, R. Boumaza, A. Vian, V. Guérin, N. Leduc, S. Sakr, 2016, Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture, *Environmental and Experimental Botany*, 121: 4-21.
- De Salvador, FR, G. Scarascia, G. Vox, E. Schettini, M. Mastrorilli, M. Bou-Jaoudé, 2008, Innovative photoselective and photoluminescent plastic films for protected cultivation, *Acta Hort*, 801:115-122.
- Diaz-Perez J.C., 2014, Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) Crop as Affected by Shade Level: Fruit yield, Quality, and Postharvest Attributes, and Incidence of Phytophthora Blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.) *Hortscience* ,49:891–900.

- Dueck T., W. van Ieperen, K. Taulavuori, 2016, Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments, *Environmental and Experimental Botany*, 121:1-3.
- Espí E., A. Salmerón, A. Fontecha, Y. García, y AI Real, 2006, Películas plásticas para aplicaciones agrícolas, *Revista de película plástica y láminas*, 22:85–102.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food and agriculture data, 2016.
- FAOSTAT. Statistics Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, Oportunidades de negocio en la agricultura protegida, 7, 2010.
- Gautam P., M.T. Terfa, J. Olsen, S. Torre, 2015, Red and blue light effects on morphology and flowering of *Petunia×hybrida*, *Scientia Horticulturae*, 184:171-178.
- Giacomelli, G.A., 2011. Glazing: it's what makes the greenhouse. Vol. 1, *Greenhouses and Equipment*, 23–28.
- Gitelson A., Y Peng, T. J. Arkebauer, A.E. Suyker, 2015, Productivity, absorbed photosynthetically active radiation, and light use efficiency in crops: Implications for remote sensing of crop primary production, *Journal of Plant Physiology*, 177:100-109.
- Goren A., S. Alkalia-Tuvia, Y. Perzelan, Z. Aharon, E. Fallik, 2011, Photosensitive shade nets reduce postharvest decay development in pepper fruits, *Adv. Hortic. Sci.*, 25:26-31.
- Gu L., D.Baldocchi, S.B. Verma, T. A. Black, T. Vesala, E.M. Falge, P.R. Dowty, 2002, Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity , , *Journal of geophysical research*, 27:1-23.
- Hannan J.J., 1998, *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*, CRC Press, 684

- Hemming S., 2011, Uso de la luz natural y artificial en la horticultura - interacción de la planta y la tecnología, *Acta Horticulturae*, 907:25–35.
- Hemming S., T. Dueck, J. Janse, F. van Noort, 2008, The effect of diffuse light on crops, *Acta Hortic*, 801:1293-1300.
- Hunsche M., M.M. Blanke, G. Noga, 2010, Does the microclimate under hail nets influence micromorphological characteristics of apple leaves and cuticles?, *Journal of Plant Physiology*, 167:974-980.
- Ilić Z.S., L. Milenkovic, M. Durovka, N. Kapoulas, 2011, The effect of color shade nets on the greenhouse climate and pepper yield, *Sym.*, 46th Croation and 6th Inter Sym Agric, 529-533.
- Ilić Z.S, L. Milenković, 2012, The influence of photosensitive shade nets on quality of tomatoes grown under a plastic tunnels and field conditions, *Book of Proceed. The 4th Joint UNS, PSU Inter. Conf. BioScience. Biotechnology and Biodiversity*, Novi Sad, 25-34.
- Ilić Z.S., L. Milenković, L. Stanojević, D. Cvetković, E. Fallik, 2012, Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits, *Sci. Hortic*, 139:90-95.
- Ilić S.Z., L. Milenković, L. Šunić, E. Fallik, 2017, Effect of shading by colour nets on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under plastic tunnels and open field, *Zemdirbyste-Agric*, 104, 53-62.
- Ilić Z.S., E. Fallik, 2017, Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review, *Environmental and Experimental Botany*, 139:79-90.
- Ilić, Z., L. Milenković, L. Šunić, 2018, Color Shade Nets Improve Vegetables Quality at Harvest and Maintain Quality During Storage. *Contemporary Agriculture*, 67: 9-19.

- INEGI. Instituto Nacional De Geografía y Estadística, Actualización del Marco Censal Agropecuario, 2016.
- INEGI. Instituto Nacional De Geografía y Estadística, Glosario, 2018.
- INAFED. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2016.
- Jacobson P., 2011. Polyethylene film. Vol. 1: Greenhouses and Equipment, 28–31.
- Kitta E., A.D. Baille, N. Katsoulas, N. Rigakis, M.M. González-Real, 2014, Effects of cover optical properties on screenhouse radiative environment and sweet pepper productivity, *Biosystems Engineering*, 122:115-126.
- Kittas C., A. Baille, P. Giaglaras, 1999, Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73:341-351.
- Kittas C., A. Baille, 1998, Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Cover Materials and Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71:193-202.
- Kong Y., L. Avraham, Y. Perzelan, S. Alkalai-Tuvia, K. Ratner, Y. Shahak, E. Fallik, 2013, Pearl netting affects postharvest fruit quality in ‘Vergasa’ sweet pepper via light environment manipulation, *Scientia Horticulturae*, 150:290-298.
- Lamnatou C., D. Chemisana, 2013, Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, NIR- and UV-blocking materials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18:271-287.
- Lewis W. Jett, 2017, High Tunnels, , A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture, 6:107-116

- Lqbal Q, M Amjad, M Rafique, M asif, m Amhad, 2009, Vegetative and reproductive evaluation of hot peppers under different plastic mulches in poly/plastic tunnel, *Journal of agricultura sciences*, 46:113-118.
- Lucero-Flores, J.M, C. Sánchez-Verdugo, 2012. *Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde*. Ed. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 83.
- Mashabela M.N., K.M. Selahle, P. Soundy, K.M. Crosby, D. Sivakumar, 2015, Bioactive compounds and fruit quality of green sweet pepper grown under different colored shade netting during postharvest storage, *J. Food Sci.*, 80:2612– 2618.
- Millicent N., D. Buthelezi, P. Soundy, J. Jifon, D. Sivakumar, 2016, Spectral quality of photo-selective nets improves phytochemicals and aroma volatiles in coriander leaves (*Coriandrum sativum* L.) after postharvest storage, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161: 328-334.
- Morteza T., R. Abbas, R.J. Mostafa, 2018, Solar thermal simulation and applications in greenhouse, *Information Processing in Agriculture*, 5:83-113.
- Nelson P.V., 1991, *Greenhouse Operation and Management*, Prentis Hall, 612.
- NGMA, 2004, National Greenhouse Manufacturers Association, *Glazing Standard Guidelines & Voluntary Standard Test Methods*. 10.
- Nishihama R., Kohchi T., 2013, Evolutionary insights into photoregulation of the cell cycle in the green lineage, *Current Opinion in Plant Biology*, 16:630-637.
- Polowick P.L., V.K. Sawhney, 1985, Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annum* L., *Scientia Horticulturae*, 25:117-127.

- Phushdi P., D. Sivakumar, P. Soundy, 2013, Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars, *Scientia Horticulturae*, 161:340-349.
- Oregon State University, *Grow your own peppers*, 1227,1993
- Oren-Shamir M., E.G. Gussakovsky, E. Shpiegel, A. Nissim-Levi., K. Ratner, Y.E. Giller, R. Ovadia, Y. Shahak, 2001, Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*, *J. Hort. Sci. Biotechnol*, 76:353-361.
- Ovadia R., I. Dori, A. Nissim-Levi, Y. Shahak, M. Oren-Shamir, 2009, Coloured shade nets influence the stem length, time to flower and flower size of ornamental crops, *J. Hort. Sci. Biotechnol*, 84:161-166.
- Rajapakse, N.C., Shahak, Y., 2007. Manipulación de la calidad de la luz por la industria de la horticultura. En: Whitelam, G., Halliday, K. (Eds.), *Luz y desarrollo de plantas*. Blackwell Publishing, Reino Unido, 290-312.
- Rajapakse N.C., R.E. Young, M.J. McMahon, R. Oi, 1999, Plant Height Control by Photosensitive Filters: Current Status and Future Prospects, *Hort Technology*, 9:618-624.
- Saebo A., T. Krekling, M. Appelgren, 1995, Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro, *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 41:177-185.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, *Tipos de estructura para la agricultura protegida*, 2017
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, *Produccion de pimiento morron en casa-malla para el sur de Tamaulipas*, 2013.

- Saha S.R., M.M. Hossain, M.M. Rahman, C.G. Kuo, S. Abdullah Effect of high temperature stress on the performance of twelve sweet pepper genotypes, 2010, Bangladesh J. Agr. Res, 35:525-534.
- Scarascia G., E. Schettini, G. Vox, M. Malinconico, B. Immirzi, S. Pagliara, 2006, Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment, Polymer Degradation and Stability, 91: 2801-2808.
- Scarascia G., E. Schettini, G. Vox, 2004, Effects of Solar Radiation on the Radiometric Properties of Biodegradable Films for Agricultural Applications, Biosystems Engineering, 87:479-487.
- Scarascia G, C Sica, G Russo, 2011, Plastic materials in european agriculture: actual use and perspectives, Journal of agricultura sciences, 3:15-28.
- Schuerger A., C. Brown, E. Stryjewski, 1997, Anatomical Features of Pepper Plants (*Capsicum annuum*L.) Grown under Red Light-emitting Diodes Supplemented with Blue or Far-red Light, Annals of Botany, 79:273-282.
- Selahle K.M., D. Sivakumar, J. Jifon, P. Soundy, 2015, Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets, Food Chemistry, 173:951-956.
- Sethi V.P., K. Sumathy, L. Chiwon, D.S. Pal, 2013, Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies, Solar Energy, 96:56-82.
- Shahak, Y., 2014. Photosensitive networks: an overview of the concept, R & D and practical implementation in agriculture. Acta Hort, 1015:155-162.
- Shahak Y., E. Gussakovsky, Y. Cohen, S. Lurie, R. Stern, S. Kfir, A. Naor, I. Atzmon, I. Doron, Y.Greenblat-Avron, 2004 , Color Nets: a new approach to the manipulation of light in fruit trees, Acta Hort, 636:609–616.

- Shahak Y., E.E. Gussakovsky, E. Gal, R. Ganelevin, 2004, ColorNets: crop protection and manipulation of the quality of light in a technology, *Acta Hortic.* 659:143–151.
- Shahak, Y., E. Gal, Y. Offir, D. Ben-Yakir, 2008, Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hortic.* 797:75-80
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2016.
- Sivakumar D., J. Jifon, 2018, - Influence of Photosensitive Shade Nettings on Postharvest Quality of Vegetables, In *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, edited by Mohammed Wasim Siddiqui, Academic Press, 5:121-138
- Smith H., 1982, Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy, *Annual Review of Plant Physiology*, 33:481-518.
- Stamps R.H., 2009, Use of Colored Shade Netting in Horticulture, *Hort Science* 44: 239-241.
- Soto-Ortiz R., J. Silvertooth, 2008, A Crop Phenology Model for Irrigated New Mexico Chile (*Capsicum annum L.*) Type Varieties, *Vegetable Report*, 152:104-112.
- Soto-Ortiz, R., J. Silvertooth, A. Galadima, 2006, Crop Phenology for Irrigated Chiles (*Capsicum annum L.*) in Arizona and New Mexico, *Vegetable Report*.
- Tanny J, 2013, Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review, *Biosystems Engineering*, 114:26-43.
- Wu M.C., C.Y. Hou, C.M. Jiang, Y.T. Wang, C.Y. Wang, H.H. Chen, H.M. Chang, 2007, A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings, *Food Chemistry*, 101:1753-1758.
- Wurr, D.C.E., J.R. Fellows., K. Phelps, 2002. Crop Scheduling and prediction Principles and opportunities with field vegetables. *Advances in Agronomy.* 76:201-234.

Zambrano-Vaca C., Olmstead M., Zotarelli L., Boyd N., Santos B., 2016, Effect of pine bark volume and ventilation for bell pepper production in high tunnels, *Scientia Horticulturae*, 207:203-207.