

# **Universidad Autónoma de Sinaloa**

**Colegio de Ciencias Agropecuarias  
Facultad de Agronomía  
Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



## **TESIS:**

**"Crecimiento y rendimiento de tomate, pimiento y pepino cultivados con mallas sombra de colores"**

**Que para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

**FELIPE AYALA TAFOYA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. FRANCISCO HIGINIO RUIZ ESPINOZA**

**ASESORES:**

**DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ**

**DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS**

**Culiacán, Sinaloa, México, Junio de 2015**

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Colegio de Ciencias Agropecuarias**  
**Facultad de Agronomía**  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

*“Crecimiento y rendimiento de tomate, pimiento y pepino cultivados con mallas sombra de colores”*

**Que para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

**FELIPE AYALA TAFOYA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. FRANCISCO HIGINIO RUIZ ESPINOZA**

**ASESORES:**

**DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ**

**DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS**

**Culiacán, Sinaloa, México, Junio de 2015**

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR FELIPE AYALA TAFOYA, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

## DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

### CONSEJO PARTICULAR

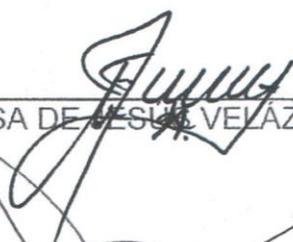
DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

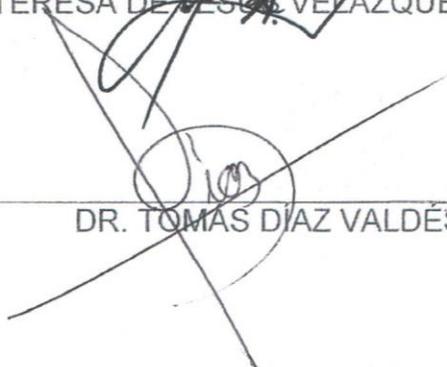
CO-DIRECTOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. FRANCISCO HIGINIO RUIZ ESPINOZA

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. TERESA DE JESUS VELAZQUEZ ALCARAZ

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

CULIACÁN, SINALOA, MAYO DE 2015



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRICULTURA DEL VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRICULTURA DEL VALLE DEL  
CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Felipe Ayala Tafoya, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 1173273-3, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba y del Dr. Francisco Higinio Ruíz Espinoza y cede los derechos del trabajo titulado “Crecimiento y rendimiento de tomate, pimiento y pepino cultivados con mallas sombra de colores”, a la Facultad de Agronomía, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

---

Felipe Ayala Tafoya

CORREO ELECTRÓNICO: [tafoya@uas.edu.mx](mailto:tafoya@uas.edu.mx)  
CURP: AATF620301HGTYFL07



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

# DEDICATORIA

A DIOS

Por tantos dones

A MI ESPOSA: DORIS

A MIS HIJOS: CYNTHIA GUADALUPE, CLAUDIA IVONNE Y LUIS FELIPE

A MIS PADRES: JACINTO (q.e.p.d. †) Y JOSEFINA (q.e.p.d. †)

A MIS HERMANOS: JOSÉ, JAIME, MARTHA, CELESTINA, TERESA, RITA,  
JACINTO Y GILDARDO

Por su amor y apoyo incondicional

## **AGRADECIMIENTOS:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa y al Colegio de Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional en el Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

A la Facultad de Agronomía por las facilidades brindadas para realizar el doctorado.

Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba por su dirección, aderezada con innumerables y valiosas aportaciones a mi formación académica y científica, y por su amistad.

Al Dr. Francisco Higinio Ruiz Espinoza, Dra. Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz y Dr. Tomás Díaz Valdés, por sus consejos e invaluable ayuda.

A mis compañeros del doctorado, Marino Valenzuela López, Moisés Gilberto Yáñez Juárez, Juan Martín Parra Delgado y Juan Ángel García Sañudo, por la amistad y experiencias compartidas.

Al M.C. Rubén García Madrid, M.C. Daniela María Zatarain López, Ing. Laura Elena Soto Parra, Ing. Esperanza Vargas Vargas, Ing. María Petra Ruiz Corrales, Ing. Jonathan Pulido Rocha (q.e.p.d. †), Ing. Carlos Paúl Lechuga Flores, Ing. Ricardo Camacho Núñez, Ing. Jesús Gilberto Serrano Rodríguez, Ing. Oscar Jaciel Astorga Ávila e Ing. Alejandro Rodríguez Najjar por su colaboración en los trabajos realizados, en su calidad de estudiantes de tesis, servicio social y práctica profesional.

Al Lic. Diego Ley López (Del Campo y Asociados, S.A. de C.V.) por permitir la realización de parte de la investigación en sus invernaderos.

Al Ing. Raz Ganelevin (Polysack Plastic Industries Ltd.), Ing. Vicente Álvarez Mares (Polysack México S.A. de C.V.), Ing. Juan Gabriel López Lozoya (Tenax S.A. de C.V.) por apoyar en la obtención de las mallas sombra de colores.

# CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN GENERAL.....	iv
GENERAL ABSTRACT.....	v
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1. Los factores ambientales en el desarrollo de las plantas.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1.1. Luz.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1.2. Temperatura.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1.3. Humedad relativa.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2. Platicultura.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2.1. Mallas sombra.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2.2. Unidades integrales o casas sombra.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2.3. Algunos resultados del uso de las mallas sombra en hortalizas.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2.4. Antecedentes de mallas sombra de colores.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE EN RESPUESTA A RADIACIÓN SOLAR TRANSMITIDA POR MALLAS SOMBRA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>

	<b>Página</b>
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
<b>CAPÍTULO 3. PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN CON MALLAS SOMBRA DE COLORES.....</b>	<b>30</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	30
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
<b>CAPÍTULO 4. PRODUCCIÓN DE PEPINO EN AMBIENTES DIFERENCIADOS POR MALLAS DE SOMBREO FOTOSELECTIVO.....</b>	<b>40</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	40
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>58</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	58
5.1.1. Tomate.....	58
5.1.2. Pimiento morrón.....	59
5.1.3. Pepino.....	59
5.2. CONSIDERACIONES FINALES.....	60
<b>CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1. Productividad (kg de rendimiento por m <sup>2</sup> ) y costos de producción (cts. de dólar por kg de producto) de pimiento, tomate y pepino en México.....	10
Cuadro 2.1. Cantidad y calidad de la radiación (W m <sup>-2</sup> ) transmitida por las mallas de colores.....	22
Cuadro 2.2. Efectos ocasionados por las mallas de colores en aspectos del crecimiento y clorofila foliar de plantas de tomate.....	24
Cuadro 2.3. Efecto causado por la radiación solar transmitida por las mallas de colores en la calidad del rendimiento (Mg ha <sup>-1</sup> ) de tomate en invernadero.....	28
Cuadro 2.4. Distribución de calibres en el rendimiento (Mg ha <sup>-1</sup> ) de tomate con calidad de exportación obtenido con las mallas de colores.....	29
Cuadro 3.1. Promedios diarios de radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI), temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de pimiento morrón, con y sin mallas sombra.....	36
Cuadro 3.2. Crecimiento y fructificación de plantas de pimiento morrón cultivado con y sin mallas sombra.....	39
Cuadro 3.3. Rendimiento de pimiento morrón cultivado con y sin mallas sombra.....	40
Cuadro 4.1. Cantidad y calidad de la radiación solar (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) transmitida por las mallas sombra (20/02/2012).....	47
Cuadro 4.2. Influencia de las mallas sombra en la humedad relativa del aire y la temperatura foliar de las plantas de pepino.....	49
Cuadro 4.3. Influencia de las mallas sombra en la transpiración (E), conductancia estomática (gs) y asimilación de CO <sub>2</sub> (A) de hojas de pepino a los 29, 60 y 85 días después del trasplante	51

	Página
Cuadro 4.4. Efecto de las mallas sombra sobre características del crecimiento de las plantas de pepino.....	55
Cuadro 4.5. Efecto de las mallas sombra en el rendimiento de pepino.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) recibida por las plantas de pimiento morrón cultivadas a cielo abierto (sin malla) y con mallas sombra.....	35
Figura 4.1. Distribución espectral de la radiación solar transmitida por las mallas sombra (20/02/2012).....	46
Figura 4.2. Influencia de mallas sombra: negra, aluminada, gris, perla, azul y roja, sobre la longitud (A) y diámetro (B) de tallo, el número (C) y área foliar de hojas individuales (D) de plantas de pepino.....	54
Figura 4.3. Influencia de mallas sombra: negra, aluminada, gris, perla, azul y roja, sobre el crecimiento en longitud (A) y diámetro (B) de frutos de pepino.....	56

## RESUMEN GENERAL

### “Crecimiento y rendimiento de tomate, pimiento y pepino, cultivados con mallas sombra de colores”

Felipe Ayala Tafuya

Las mallas sombra negras son ampliamente utilizadas en el cultivo protegido de plantas hortícolas como técnica de control de la luz y la temperatura. Recientemente han salido al mercado mallas de colores con propiedades fotométricas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar. En tres trabajos de investigación, realizados en tomate, pimiento morrón y pepino, se evaluó la fotoselectividad de mallas negras y coloreadas con 30 a 50% de sombra, para comparar los efectos que la cantidad y calidad de la luz transmitida ocasionan sobre la temperatura y la humedad relativa del ambiente de las plantas, sus respuestas fotosintéticas, fotomorfogénicas y de rendimiento de frutos. Los resultados indican que las mallas de colores alteraron la cantidad y calidad de la luz transmitida sobre las plantas de tomate, pimiento morrón y pepino. En el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon*), las plantas que crecieron bajo la malla perla con 30% de sombra presentaron tallos más gruesos y menos largos, menor área foliar específica, altos valores de verdor foliar y rendimientos total y exportable que superaron en 57.1 y 87.4% a los respectivos rendimientos obtenidos con la malla negra del mismo porcentaje de sombra. En el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) la reducción de radiación fotosintéticamente activa ocasionada por las mallas (50% de sombra) no influyó significativamente en la temperatura, pero la humedad relativa fue incrementada de 9.1 (negra) a 21.0% (beige). Las mallas verde y roja propiciaron los mayores incrementos en la altura y el área foliar de las plantas. Los rendimientos con calidad de exportación obtenidos con las mallas superaron desde 52.5 (negra) hasta 132.8% (beige) a las 20.4 t ha<sup>-1</sup> cosechadas en el testigo sin malla. En el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) las mallas (30% de sombra) tampoco influyeron significativamente en la temperatura del aire, pero las coloreadas aumentaron la humedad relativa máxima (3.4 a 4.2%) y la temperatura de las hojas superiores (0.2 a 0.9 °C), así como sus propiedades fotosintéticas: transpiración, conductancia estomática y asimilación de CO<sub>2</sub>. Consecuentemente, la longitud (240.0 cm) y diámetro de tallo (8.0 mm), número de hojas (22.2), área foliar (406.0 cm<sup>2</sup>), verdor (41.6 unidades Spad) y peso seco de hojas (52.5 g/planta) y tallo (14.7 g/planta) que presentaron las plantas en la malla negra, se incrementaron en los respectivos 11.6, 10, 12.6, 23.4, 22.8, 9.5 y 36.7% con la malla roja. Las mallas perla, roja, aluminada y azul, representan opciones viables pues aumentaron el rendimiento obtenido con la malla negra (5.2 kg m<sup>-2</sup>) en 71.1, 48.1, 46.1 y 46.1%, respectivamente.

**Palabras clave:** cantidad de luz, calidad de luz, crecimiento de plantas, fotosíntesis, rendimiento de frutos.

## GENERAL ABSTRACT

### “Growth and yield of tomato, bell pepper and cucumber, cultivated with colored shade nets”

Felipe Ayala Tafoya

Black shade nets are widely used in the protected crop of vegetables as a technique of control of light and temperature. Recently appeared in the market colored shade nets with special optical properties to improve the use of the solar radiation. In three investigation works carried out in tomato, bell pepper and cucumber, the photoselectivity of black and colored plastic nets with 30 to 50% of shadow was evaluated, to compare the effect that quantity and quality of transmitted light causes in the temperature and relative humidity of plants environment, growth and fruit yield. The results indicate that the colored shade nets altered the quantity and quality of the light transmitted. The tomato (*Solanum lycopersicon*) plants that grew under the pearly net with 30% of shadow presented thicker and shorter stems, smaller specific leaf area, one of the greater contents of chlorophyll and increased significantly the total (57.1%) and exportable (87.4%) yield, compared with the respective yield obtained with the black net with the same percentage of shadow. In bell pepper (*Capsicum annuum*) the reduction caused by nets with 50% shadow on transmission of photosynthetically active radiation did not significantly influence the air temperature, while relative humidity increased from 9.1 in the black net to 21.0% in the beige net. Green and red nets caused the largest increases in plant height and leaf area. Export quality yield in unprotected control accounted for 20.4 t ha<sup>-1</sup>, while colored nets exceeded from 52.5% in the black net to 132.8% in the beige net. The nets with 30% shade used in cucumber (*Cucumis sativus*) not significantly change the air temperature, but colored nets increased the maximum relative humidity (3.4 to 4.2%), temperature of the upper leaf (0.2 to 0.9 °C) and the photosynthetic leaf responses: transpiration, stomatal conductance and CO<sub>2</sub> assimilation. Consequently, the plant height (240.0 cm), stem diameter (10.0 mm), leaves number (22.2), leaf area (406.0 cm<sup>2</sup>/leave), greenness (41.6 Spad units), stem and leaf dry weight (52.5 and 14.7 g/plant, respectively) of plants growing in black net, were increased by 11.6, 10, 12.6, 23.4, 22.8, 9.5 and 36.7% with the red net. The pearl, red, aluminized and blue nets showed to be viable options because they increased plant yield compared with conventional black net (5.2 kg m<sup>-2</sup>) with raises of 71.1, 48.1, 46.1 and 46.1%, respectively.

**Key words:** light quantity, light quality, plants growth, photosynthesis, fruits yield.

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA**

## **1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

En los últimos años, producto de la competencia en los mercados de exportación, las exigencias en cuanto a la calidad de los productos agrícolas son cada vez mayores (Wener, 1999; Randolph, 2000). La horticultura intensiva es una de las actividades productivas con los mejores indicadores económicos en Sinaloa, donde el tomate, pimiento morrón y pepino son las hortalizas más importantes, las cuales son cultivadas en tres diferentes ambientes: campo abierto, casa sombra e invernadero (Randolph, 2000). Este último, es sin duda el sistema de producción que permite a los horticultores obtener los mayores rendimientos por hectárea; sin embargo, la construcción de un invernadero significa una inversión importante que debe analizarse cuidadosamente (Ortiz *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2012). Asimismo, las diferentes condiciones climáticas que existen en nuestro país, y que favorecen el desarrollo de una gran variedad de cultivos, representan también un potencial que se puede aprovechar con mayor beneficio, si se utilizan los materiales adecuados para ello. Por lo que una alternativa más económica es el uso de la malla o casa sombra, que protege a las plantas (hojas y frutos) de una intensa radiación solar directa, reduciendo con ello el estrés térmico y evitando la quemadura de frutos, además de que con un grado de luminosidad adecuado a cada tipo de cultivo para una respuesta máxima, se puede obtener como resultado una planta más vigorosa con frutos de mayor calidad y mayores rendimientos que en campo abierto (Wener, 1999; Valera *et al.*, 2001; Gruda, 2005). Pero el objetivo de la malla sombra no debe ser solo reducir la cantidad de luz o evitar el exceso de temperatura, sino ir más allá. Si se considera que el calor es producido por la radiación del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, o energía radiante del sol, una malla sombra ideal debería ser un filtro selectivo que detuviera esa radiación sin afectar la parte visible o útil para la fotosíntesis; sin embargo, no existe un material con esas características, pero existen algunos que se aproximan a ese perfil ideal (Ashkenazi, 1996).

A ese respecto, las mallas de sombreo utilizadas para suavizar el efecto de los rayos solares, al cubrir parcial o totalmente el área de cultivo durante las horas de mayor concentración de energía (en las regiones tropicales las temperaturas alcanzan los 40 °C), y usadas también para proteger la entrada y los laterales del invernadero contra la invasión de las plagas que afectan a los cultivos (García, 1996), con un diseño diferente y ajustes en la calidad de los materiales, pueden crear ambientes que influyen en el crecimiento y desarrollo vegetal, al favorecer procesos que dependen de la luz y/o la temperatura, tales como: la fotosíntesis, mediante la cual se transforma la energía solar en energía química utilizando luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa, y absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la germinación de las semillas, elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros productos secundarios, en respuesta a la incidencia de flujo fotónico con longitudes de onda de 400-500 nm (luz azul), 600-700 nm (luz roja) y 700-800 nm (luz roja lejana), percibidas por fotorreceptores biológicos (fitocromos, criptocromos y otros) presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Decoteau *et al.*, 1993; Devlin *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2012).

La manipulación de la luz en la agricultura y la horticultura tiene una larga historia. Los primeros esfuerzos estuvieron dirigidos hacia el control de la cantidad de la luz, para optimizarla de acuerdo a las necesidades específicas de cada cultivo. Sin embargo, las plantas también responden a la calidad (distribución del espectro) de la luz incidente. Esta respuesta es mediada por varios sistemas fotorreceptores basados en pigmentos que controlan las distintas etapas del desarrollo de la planta. Diversas investigaciones han desarrollado recientemente un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008). El enfoque está basado en mallas cromáticas con propiedades ópticas especiales, ya que éstos son capaces de modificar específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultravioleta (315-400 nm), fotosintética (400-700 nm) y del rojo lejano (700-800 nm), intensificar su contenido relativo de luz difusa o afectar sus componentes térmicos (región infrarroja cercana, 800-2500 nm), de acuerdo a los

aditivos presentes en el plástico de las mallas (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004). El término mallas de sombreo cromáticas es utilizado en su sentido amplio, para incluir las mallas que parecen de color para el ojo humano (p.e. las de color azul, amarillo o rojo), así como las mallas que no parecen coloreadas, pero sin embargo modifican el espectro lumínico o intensifican la dispersión de la luz (p.e. gris, aluminada o perla). Esta tecnología fomenta una estimulación diferente de las respuestas fisiológicas, principalmente en aquellos procesos que son regulados por la luz, además de la protección física ofrecida por las mallas. Dichas respuestas fisiológicas en buena medida son las que determinan el valor comercial de cada cultivo, incluyendo la producción, calidad del producto, índice de maduración, etc. Actualmente, algunas de estas metas se alcanzan a través del uso intensivo de reguladores del crecimiento y otros productos químicos, y a través de diversas prácticas culturales (podas, raleos, etc.) (Shahak, 2008).

La baja o nula fotoselectividad de la malla sombra negra, ordinariamente utilizada por los horticultores para reducir la radiación solar y la temperatura, no contribuye a optimizar la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal (Hemming *et al.*, 2006; Bastida y Ramírez, 2008; Cummings *et al.*, 2008). Además, la mayoría de la información publicada, que aborda la influencia de la calidad de la luz en hortalizas, refiere respuestas obtenidas en condiciones de laboratorio, con fuentes de luz artificial para facilitar las mediciones (Pearson *et al.*, 1995; Kittas y Baille, 1998), las cuales no son realmente representativas de la distribución de luz natural en los cultivos protegidos.

Debido a que actualmente se desconocen las respuestas de las plantas de tomate, pimiento morrón y pepino a la radiación solar transmitida por mallas sombra de colores, se realizaron tres trabajos de investigación con el objetivo general de conocer la cantidad y calidad de la radiación solar transmitida por mallas de colores, los efectos que ocasionan sobre la temperatura y la humedad relativa en el ambiente del cultivo protegido de dichas hortalizas, sus respuestas fotosintéticas, fotomorfogénicas y de rendimiento de frutos.

## **1.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1.2.1. Los factores ambientales en el desarrollo de las plantas**

El medio ambiente es el conjunto de condiciones exteriores que afectan la vida y desarrollo de un organismo e indica lo dinámico del medio natural de una planta, ya que constantemente se está combinando la intensidad de sus factores. Ahora bien, el ambiente para la producción y desarrollo de cultivos protegidos está constituido por todos los factores climáticos modificados por el tipo de estructura y su cubierta; el medio de crecimiento de las raíces, formado por suelos naturales o sustratos artificiales; las interacciones con otros organismos con los que las plantas se relacionan, como insectos, hongos, bacterias y virus; así como todas las modificaciones y prácticas culturales realizadas para acondicionar y manejar de la mejor manera ese ambiente, con la finalidad de crearle a la planta las mejores condiciones y pueda expresar todo su potencial productivo. Por lo que siempre se debe buscar la mejor adaptación del cultivo al ambiente específico, o bien observar su respuesta a diferentes condiciones ambientales para realizar la mejor selección (Bastida y Ramírez, 2008; Randolph, 2000).

Los principales factores que intervienen en el desarrollo vegetal, mismos que se pueden modificar o controlar mediante sistemas de cultivo protegido son: la luz, temperatura, humedad ambiental y bióxido de carbono. Estos elementos son dependientes entre sí, cuando se modifica uno de ellos los otros también son afectados (Matallana y Montero, 2001; Serrano, 2005; Bastida y Ramírez, 2008).

#### **1.2.1.1. Luz**

La energía solar es el factor ambiental que ejerce una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, al afectar, entre otros procesos biológicos, la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR, por sus siglas en inglés) y absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la

germinación de las semillas, elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros productos secundarios, en respuesta a la incidencia de flujo fotónico con longitudes de onda de 400 a 500 nm (luz azul), 600 a 700 nm (luz roja) y 700 a 800 nm (luz roja lejana), percibidas por fotorreceptores biológicos (fitocromo y otros) presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Salisbury y Ross, 1994; Decoteau, 1997; Martínez *et al.*, 1998; Bastida y Ramírez, 2008).

Las investigaciones sobre respuestas fotomorfogénicas en plantas se remontan principalmente a las dos últimas décadas; cuando Kasperbauer y Hunt (1987) estudiaron la regulación del desarrollo vegetal a través del fitocromo en suelos de varios colores, que como posteriores trabajos con acolchados coloreados sugirieron que el color podría inducir cambios en el microclima de las plantas (cantidad y balance espectral de la luz, temperatura de la zona radical, etc.) y actuar en las plantas como sistemas de regulación natural para influir en el crecimiento vegetal y la producción de frutos (Decoteau *et al.*, 1989; 1990).

Kelly *et al.* (1989) estudiaron el uso de materiales reflectivos de colores para la producción de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) dentro de invernaderos, demostrando que estos materiales afectaron las poblaciones de mosquita blanca [*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)] y recomendaron su uso como una opción de control no químico de insectos.

Mortensen y Stromme (1987) reportaron el potencial sobre el uso de filtros espectrales en la regulación del crecimiento vegetal. Pollock *et al.* (1990) desarrollaron la tecnología para la utilización de filtros espectrales líquidos en invernaderos, consistentes en la colocación de líquidos coloreados (con características espectrales específicas) dentro de placas acrílicas o de policarbonato, de doble capa, usadas como cubiertas de invernadero. Estos filtros espectrales líquidos han funcionado como filtros selectivos de radiaciones de longitudes de onda fotomorfogenética que afecta la morfología vegetal (McMahon *et al.*, 1991). Con ellos también redujeron la transmisión de radiación calorífica y, por consiguiente, alteraron

las necesidades de enfriamiento de invernaderos (Pollock *et al.*, 1990; 1992). A partir de entonces, a los materiales comerciales usados en la construcción y sombreado de invernaderos les fueron estudiadas sus propiedades de transmisión espectral y su potencial influencia en el desarrollo vegetal (McMahon *et al.*, 1990).

También las cubiertas de hileras fueron investigadas en el mismo sentido (Friend y Decoteau, 1990), encontrando por ejemplo, que los materiales de fibras termo soldadas (telas no tejidas) redujeron la transmisión de luz azul, aunque no afectaron las proporciones de luz roja y roja-lejana; mientras que los materiales de polietileno incrementaron la luz roja-lejana y roja, y redujeron la luz azul. Decoteau y Friend (1991a) encontraron que al exponer plantas de sandía [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai] a altas proporciones de luz roja-lejana: roja, crecieron más altas que las plantas expuestas a proporciones menores.

Posteriormente, Decoteau y Friend (1991b) investigaron los mecanismos fisiológicos de la regulación del crecimiento vegetal por la luz roja y roja-lejana, que permitieron entender mejor la participación del fitocromo. Decoteau y Friend (1991c), usando un sistema hidropónico, utilizaron tratamientos con base en la calidad de la luz y los aplicaron en plantas de sandía. Las plantas irradiadas con luz roja-lejana tuvieron pecíolos más largos, tallos más altos y mayor peso seco de pecíolos y tallos que los testigos. Esta respuesta del crecimiento a la luz roja-lejana fue revertida con la exposición a luz roja, implicando la participación del fitocromo. Similares resultados encontraron Friend y Decoteau (1991) al irradiar otros órganos vegetales como pecíolos y hojas, sugiriendo con esto que la calidad de la luz fotomodula el crecimiento de estos órganos vegetales.

Por otra parte, tratamientos con luz roja utilizando lámparas fluorescentes de luz rica en longitudes de onda roja (Decoteau y Friend, 1991c) o filtros espectrales a base de soluciones de sulfato de cobre con semejantes propiedades (Benson, 1992; Clarck *et al.*, 1991) dieron como resultado, dentro de invernadero, trasplantes de tomate fuertes y compactos (muy deseables en la producción de trasplantes), aunque sin efecto en el rendimiento final.

Decoteau *et al.* (1993) reportaron que cuando el público en general tenga mejor conocimiento sobre las aplicaciones exógenas de productos químicos a los cultivos, los residuos indeseables en las cosechas y la contaminación del ambiente, se incrementará el interés por el uso de métodos alternativos, como la calidad de la luz, para regular el crecimiento vegetal y controlar enfermedades e insectos plaga. Por lo que investigadores en el estudio de la fotomorfogénesis continúan generando nueva información sobre la luz y el crecimiento vegetal, y usando este nuevo conocimiento para desarrollar sistemas hortícolas ambientalmente más saludables para la producción exitosa de cultivos de hortalizas, frutas, flores y ornamentales.

Ashkenazi (1996) menciona que la fotomorfogénesis, o sea la manipulación del crecimiento de la planta y el desarrollo a través del efecto de partes específicas del espectro de radiación, ciertamente es un reto excitante para todos los implicados en la horticultura. Actualmente, con el uso de algunos aditivos (fluorescentes, pigmentos, de cerámica, etc.) se logra afectar las proporciones de luz roja y roja-lejana incidente, las cuales originan los estados Fr y F del fitocromo, respectivamente, y catalizan procesos fisiológicos en sentido opuesto en los mismos órganos vegetales. El cambio en la relación F/Fr en la radiación ambiental incidente, puede tener muy poco efecto en términos de resultados en la horticultura, pero no regula la posibilidad de que, alguna vez, una cubierta con dicho atributo, pueda dar un efecto notablemente benéfico a cierta cosecha en una ubicación geográfica específica.

### **1.2.1.2. Temperatura**

La temperatura ejerce una gran influencia sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas y no hay tejido o proceso fisiológico que no esté influido por ella. El crecimiento y desarrollo de la mayoría de las plantas cultivadas ocurren dentro de un rango de temperaturas óptimas, que oscila entre los 15 a 35 °C (Alpi y Tognoni, 1991; Serrano, 2005).

Bastida y Ramírez (2008) mencionan que cuando se relaciona la temperatura con el desarrollo vegetal interesa conocer las temperaturas cardinales o extremas que

puede soportar un cultivo; la temperatura óptima en la cual la planta presenta su mejor desarrollo, así como las temperaturas mínimas y máximas por debajo o encima de las cuales las plantas detienen su crecimiento.

### **1.2.1.3. Humedad relativa**

La humedad del ambiente debajo de una estructura de protección de los cultivos interviene en varios procesos, como el amortiguamiento de los cambios de temperatura, el aumento o disminución de la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores y en el desarrollo de enfermedades (Serrano, 2005).

Cuanto más húmedo esté el ambiente, menos evaporación y transpiración de las plantas. A mayor temperatura menos humedad relativa. A menor humedad relativa mayor consumo de agua (Pérez y Martínez-Laborde, 1994; Salisbury y Ross, 2000). Cuando la transpiración es intensa, como consecuencia de la falta de humedad en el ambiente o por las altas temperaturas, puede haber más concentración de sales en las partes donde se realiza la fotosíntesis y quedar disminuida esta función (Serrano, 2005).

### **1.2.2. Platicultura**

El campo de los cultivos hortícolas y ornamentales está experimentando una tendencia cada vez más marcada hacia la producción anticipada o fuera de estación, y en condiciones naturales diferentes a aquellas en las que tradicionalmente se cultivaban a campo abierto, tendencia que ha creado la necesidad del uso de diversos sistemas y estructuras de protección de los cultivos para forzar su desarrollo, como son: acolchados, cubiertas flotantes, micro y macro túneles, casas sombra e invernaderos (Ayala-Tafoya, 1997; Bastida y Ramírez, 2008).

#### **1.2.2.1. Mallas sombra**

Las mallas sombra son de un material tejido y manufacturado con monofilamentos o filamentos planos de polietileno de alta densidad que tienen características de alta

resistencia y durabilidad, para usarse en campos a cielo abierto y en invernaderos. Mediante el uso de las mallas se puede reducir la luminosidad entre un 30 y 90%, dependiendo del tipo y necesidades del cultivo. El color más empleado en las mallas sombra es el negro, aunque empiezan a aparecer mallas cromáticas como el azul, rojo, beige y verde o combinaciones de estos colores. Además del polietileno, el material más común para la fabricación de este tipo de mallas, también se emplean el polipropileno y el poliéster. La duración de las mallas de polietileno con un buen manejo es de cuatro años, mientras que las de polipropileno pueden llegar a diez años de duración (Bastidas y Ramírez, 2008; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

### **1.2.2.2. Unidades integrales o casas sombra**

La construcción de un invernadero significa una inversión importante que debe analizarse cuidadosamente. Para este propósito, se debe considerar que existen nuevos materiales y diseños de construcción que se adaptan a las diferentes necesidades de cada cultivo. En el caso de nuestro país, existen diferentes condiciones de temperatura y humedad del ambiente que favorecen el desarrollo de una gran variedad de cultivos. Este potencial se puede aprovechar con mayor utilidad, si se utilizan los materiales adecuados para ello (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

A ese respecto, las mallas sombra que se venían utilizando en las regiones templadas del Estado de México, Michoacán y Morelos, para suavizar el efecto de los rayos solares, al cubrir parcial o totalmente al cultivo durante las horas de mayor concentración de energía, y que se utilizaban también para proteger la entrada y los laterales del invernadero contra la invasión de las plagas que afectan a los cultivos, con un diseño diferente se utilizan ahora en las regiones tropicales, donde las temperaturas alcanzan los 40°C. Con el diseño y los ajustes en la calidad de los materiales, estas mallas se han convertido en una herramienta muy eficaz para controlar el exceso de temperatura, obtener una mayor ventilación y sombrear el área de producción de una manera económica y productiva (García, 1996).

Los sistemas o estructuras para adaptar las mallas sombra, en unidades integrales o casas sombra, han sido desarrolladas principalmente en los estados de Sinaloa,

Nayarit, Colima, Chiapas y Tabasco, y actualmente se están utilizando para la producción de trasplantes y cultivos intensivos que requieren de una mayor ventilación. En estas regiones, las casas sombra, previenen el efecto del viento, reducen la evaporación y la transpiración de las plantas y evitan el ingreso de los insectos, que muchas veces son portadores de peligrosas enfermedades virales. Otra de las ventajas de las casas de sombra, es que con su instalación, se reducen las aplicaciones de agroquímicos y se aprovecha mejor el espacio vertical para el crecimiento adecuado de las variedades indeterminadas (García, 1996).

### 1.2.2.3. Algunos resultados del uso de las mallas sombra en hortalizas

Randolph (2000) menciona que México es uno de los pocos países en donde la tecnología permite ahora producir en tres diferentes ambientes, campo abierto, casa sombra e invernadero (Cuadro 1.1), se revela un gran potencial para las diferentes regiones, y muestran un panorama cada vez más amplio y competitivo, en donde están en juego tanto los adelantos de maquinaria, insumos y equipos, como el factor humano en la administración de los recursos. Por lo que para enfrentar los incrementos en los costos de producción, debido a la inflación y la reducción en los precios de las hortalizas en el mercado, los horticultores han tenido que buscar incrementar los rendimientos en los cultivos, como la mejor herramienta para poder mantener la competitividad.

Cuadro 1.1. Productividad (kg de rendimiento por m<sup>2</sup>) y costos de producción (cts de dólar por kg de producto) de pimiento, tomate y pepino en México.

Sistema de producción	Pimiento		Tomate		Pepino	
	kg m <sup>2</sup>	cts kg <sup>-1</sup>	kg m <sup>2</sup>	cts kg <sup>-1</sup>	kg m <sup>2</sup>	cts kg <sup>-1</sup>
Campo abierto	6-8	0.23-0.28	8-10	0.15-0.20	4-6	0.12-0.15
Malla sombra	9-12	0.30-0.35	12-16	0.23-0.25	9-18*	0.19-0.22*
Invernadero A			18-25	0.29-0.32		
Invernadero AA	18-23	0.52-0.56	35-50	0.29-0.35	35-50*	0.21-0.27*

Invernaderos tipo A: tecnología intermedia, tipo AA: tecnología avanzada. \*Pepino tipo holandés sin semilla.

Actualmente existen varios paquetes de tecnología que pueden ser adoptados para cada cultivo y a veces resulta difícil hacer una buena selección, por lo que se recomienda el establecimiento de pruebas de manera continua para poder observar las diferencias y hacer una correcta selección, tanto de la tecnología de producción, donde intervienen muchas variables, así como de las variedades adecuadas, por su ciclo productivo y potencial de rendimiento (Randolph, 2000).

Wener (1999) menciona que en Israel el pimiento se cultiva en el exterior, bajo invernadero, bajo casa sombra o combinando los tres, pero en climas cálidos y secos cada vez más se está utilizando la malla porque protege la planta (hoja y fruto) de una fuerte radiación solar directa y porque disminuye las altas temperaturas, eliminando así la quemadura de frutos; además, protege contra daños por heladas, viento, arena e insectos, y reduce las amplitudes de temperatura diurnas-nocturnas, teniendo como resultado una planta más vigorosa con un fruto de mayor calidad y mayores rendimientos. Normalmente se trata de una estructura de techo plano de por lo menos tres metros de altura, que puede ser temporal o permanente.

#### **1.2.2.4. Antecedentes de mallas sombra de colores**

Sobre los efectos en el microclima, las mallas, independientemente de su color, reducen la radiación que llega a las plantas. Obviamente, cuanto mayor sea el factor de sombra más radiación será bloqueada. Las reducciones de radiación resultantes afectarán la temperatura en el aire, planta y suelo, así como la humedad relativa (Stamps, 1994). Además de afectar a la cantidad de radiación, las mallas pueden influir en la dirección de radiación. Se ha demostrado que la luz difusa aumenta la eficiencia del uso de la radiación, e incluso ser un factor que afecta la floración de las plantas y los rendimientos (Sinclair *et al.*, 1992; Healey *et al.*, 1998; Gu *et al.*, 2002; Ortiz *et al.*, 2006; Guenter *et al.*, 2008). Se ha demostrado que la malla sombra que aumenta la dispersión de la luz, pero que no afecta el espectro de luz, aumenta la ramificación, la compacidad de la planta y el número de flores por planta (Nissim-Levi *et al.*, 2008). Las mallas sombra de color pueden aumentar la dispersión de la luz en 50% o más, y sólo esto pueden influir en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Las mallas sombra de color están siendo intensamente probadas, principalmente debido a su capacidad para manipular los espectros de radiación que llega a las plantas cultivadas. Se pueden utilizar para cambiar las relaciones de la luz roja: roja lejana que son detectados por los fitocromos, las cantidades de radiación disponibles para activar los fotorreceptores azul/ultravioleta-A, la luz azul implicada en las respuestas fototrópicas mediadas por fototropinas, y la radiación en otras longitudes de onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de la planta (Stamps, 2009).

Las mallas también reducen la velocidad y circulación del viento (Stamps, 1994), lo que puede afectar a las temperaturas, humedades relativas y las concentraciones de CO<sub>2</sub>, resultantes de las reducciones en la mezcla de aire (Rosenberg *et al.*, 1983). Estos cambios pueden afectar la transpiración, fotosíntesis, respiración y otros procesos. Los efectos sobre el movimiento del aire dependen de la porosidad y la ubicación física de la malla con relación a las plantas, y pueden ser afectados por la hora del día, la estación y otros factores.

Las mallas de sombreo a menudo se despliegan sobre los cultivos para reducir el estrés por calor (Shahak *et al.*, 2004; Elad *et al.*, 2007; Retamales *et al.*, 2008); sin embargo, en casas sombra las temperaturas, durante el día, son típicamente más altas que en el exterior (Stamps, 1994; Pérez *et al.*, 2006), y pueden ser más bajas en la noche (Stamps, 1994). Las humedades relativas frecuentemente son más altas bajo malla que en el exterior, como consecuencia del vapor de agua que es transpirado por las plantas y la reducción de la mezcla con aire más seco fuera de la zona enmallada (Elad *et al.*, 2007), aun cuando las temperaturas bajo malla son más altas que en el exterior (Stamps, 1994).

Sobre los efectos en las plantas, Retamales *et al.* (2008) evaluó los efectos que mallas negras, grises, rojas y blancas, con porcentajes de sombra nominales de 35 y 50% para cada color, ocasionaron en arándano cv. 'Berkeley', comparados con un tratamiento testigo sin sombra. Los tratamientos con mallas negras, los cuales presentaron las mayores reducciones de radiación fotosintéticamente activa (47 y 54%), fueron los principales causantes de crecimiento vegetativo (mayores

entrenudos, hojas más largas y anchas y brotes más largos) en comparación con el testigo sin malla. Las otras malla de colores (gris, rojo y blanco) redujeron la RFA de 29 a 41% y no tuvieron efecto en las longitudes de los entrenudos y brotes y, efectos menores, en algunos casos, de otros parámetros vegetativos (aumento de la longitud de la hoja con la malla gris 50%, aumento del ancho de la hoja con las tres mallas de 50% y también con la malla gris de 35%).

Basile *et al.* (2008) evaluaron los efectos de mallas de color azul, gris, rojo y blanco, además de un tratamiento sin malla, en kiwi cv. 'Hayward', y encontraron que el peso fresco de podas de invierno fue menor con la malla azul que en los tratamientos con malla roja y sin malla. Esto podría ser debido, en parte, al hecho de que la malla azul disminuyó la RFA, de 26.9% en comparación con el 0% y el 22.8% para los tratamientos sin malla y con malla roja, respectivamente. El control del vigor podría ser beneficioso porque la poda es la de mayor costo de producción. Los autores también estimaron los efectos de las mallas en la poda de verano y llegaron a la conclusión de que los costos de la poda de verano podrían ser mayores en las mallas rojas y grises en comparación con el testigo sin malla. Igualmente, con base en el peso de material de poda, Shahak *et al.* (2004) encontraron que las mallas de color azul, gris, perla, rojo y amarillo de 30% de sombra y blanca de 12%, aumentaron el crecimiento vegetativo de árboles de durazno cv. 'Hermosa'.

Una investigación realizada con un grupo de cultivares e híbridos de *Phalaenopsis* mostró un patrón bastante consistente de una mayor producción de biomasa de follaje (peso fresco y seco) con la malla azul, a pesar de la menor transmisión de RFA en comparación con mallas negras y rojas (Leite *et al.*, 2008). Por otra parte, en un experimento de dos años, utilizando mallas con factor nominal de 70% de sombra: negra, azul, gris y roja, la masa foliar de *Philodendron xanadu* no se vio afectada, pero el mayor número de hojas se obtuvo con la malla roja y el más bajo con la azul (Stamps, 2008).

Oren-Shamir *et al.* (2001) reportaron que la longitud de las ramas de *Pittosporum* abigarrado aumentó con la malla roja y disminuyó con la malla azul. También

informaron que las mallas gris, aluminada y roja aumentaron la ramificación en comparación con la malla negra. La producción de ramas comerciales (utilizadas por floristas) se redujo bajo la malla azul. En el mismo estudio, el menor porcentaje de hojas pequeñas (menos de 10 cm<sup>2</sup>) y el mayor porcentaje de hojas grandes (de 15 a 30 cm<sup>2</sup>) fueron producidos bajo las mallas verde y roja en comparación con la malla negra convencional, con tasas de fotosíntesis de las hojas generalmente en paralelo con los parámetros de crecimiento de las plantas. En otro estudio de tres años, que también incluyó determinaciones de rendimiento de ramas de *Pittosporum tobira* 'Variegata', la producción fue más alta bajo la malla roja, intermedia bajo la gris, y las más bajas bajo con las mallas negra y azul (Stamps, 2008).

Sobre efectos en la floración, Basile *et al.* (2008) mencionan que bajo mallas de color blanco, rojo, azul y gris con factores de sombreado del 20.4 al 26.9%, el número de flores e inflorescencias por brote fueron menores comparados con los tratamientos sin malla. Leite *et al.* (2008) indicaron que la malla roja, en comparación con las mallas negra y azul (todas con 30% de sombra), indujo precocidad de la floración en nueve de 10 cultivares e híbridos de *Phalaenopsis*. Mientras que según Shahak *et al.* (2004), después de dos años bajo malla, la floración del duraznero 'Hermosa' se incrementó en cinco (blanca con 12% de sombra; azul, perla, roja y amarilla con 30% de sombra) de seis tratamientos con malla en comparación con el testigo sin malla. Sólo la malla de color gris con 30% de sombra no afectó la floración en comparación con el testigo.

Con respecto a efectos observados en el rendimiento y calidad del fruto, Shahak *et al.* (2004) encontraron que un tratamiento con malla sombra roja/blanca, que reduce RFA en 18%, aumentó el cuaje de frutos de manzana cv. 'Smoothie Golden Delicious' (SGD) en comparación con el testigo sin malla. Aunque ninguno de los otros tratamientos con mallas sombra de color aumentó el cuaje de frutos SGD y ninguno, incluyendo la malla roja/blanca, influyeron en el cuaje de frutos de 'Topred Red Delicious' (TRD), todos los tratamientos con malla redujeron los potenciales de agua del tallo al mediodía (menos negativo) e impidieron el daño por sol/calor. La reducción del estrés fue probablemente debido al sombreado de las mallas, que iban

de 10 a 36% para RFA y de 19 a 42% para ultravioleta-A/ultravioleta-B y se tradujo en mayor cuaje de frutos SGD. Sin embargo, los diámetros de fruto de TRD no fueron afectados por las mallas. En contraste, todas las mallas, excepto la blanca, mejoraron la coloración roja del fruto (cobertura e intensidad) de TRD. Posteriormente, Shahak *et al.* (2008) informaron que el tamaño del fruto y el rendimiento de SGD se incrementaron con las mallas perla, roja y blanca, pero no con las mallas azul, gris o negra. Para TRD, sólo la malla blanca aumentó el tamaño del fruto, que los autores atribuyen a la menor productividad, inherente al mayor tamaño de fruta, y mayor vigor de las plantas de TRD en comparación con SGD.

Retamales *et al.* (2008) refieren que al usar malla gris de 35%, roja de 50% y blanca de 50% de sombra, aumentaron los rendimientos de arándano cv. 'Berkeley' de 60 a 91% en el primer año y de 26 a 45% en el segundo año. El aumento de los rendimientos fueron el resultado de un mayor cuaje de frutos en lugar de frutos más grandes y, según los autores, era lo suficientemente grande como para justificar fácilmente el costo de la instalación de las mallas.

Shahak *et al.* (2008) obtuvieron los mayores incrementos de peso de baya y racimo en uva de mesa cv. 'Superior' bajo mallas amarillas de 30% de sombra, pero la gris de 30% redujo los rendimientos en comparación con el testigo sin malla. Los rendimientos también se incrementaron bajo las mallas negra de 30%, roja de 30%, y blanca de 22% de sombra. En otros ensayos, utilizando el cv. 'Red Globe', los autores informaron un aumento de tamaño de bayas bajo la malla amarilla de 30% en comparación con otras cinco mallas de colores, y un aumento de peso de bayas bajo las mallas negra, roja y blanca en comparación con el testigo sin malla. El color de malla también mostró afectar la tasa de maduración de la fruta con la dispersión de luz, las mallas perla y blanca aumentaron la tasa de maduración de varios cultivares, mientras que las mallas negra y roja retrasaron la maduración de 'Red Globe'. Con la malla azul, la maduración se adelantó en 'Superior' pero se retrasó en 'Perlette'.

El rendimiento de kiwi se redujo en todos los tratamientos con mallas de color azul, gris, rojo y blanco, con factores de sombreado RFA de 20 a 27%; sin embargo, aumentos en el tamaño del fruto con las mallas (excepto gris) compensaron el menor rendimiento, de modo que los precios de los cultivos no fueron diferentes del testigo sin malla (Basile *et al.*, 2008). El cuajado de durazno cv. 'Hermosa' se incrementó en dos tratamientos con malla en comparación con el testigo sin malla (Shahak *et al.*, 2004). La malla roja con 30% de sombra tuvo el mayor efecto sobre la calidad del cuaje de frutos con tres de los otros tratamientos con mallas también beneficiando la calidad de cuajado. El tamaño del fruto fue mayor bajo las mallas, excepto bajo la malla de color azul. Sin embargo, estos frutos más grandes tenían los valores de sólidos solubles totales y firmeza más bajos. Resultados preliminares indican que las mallas de sombra de colores pueden influir en el tamaño y russetting de las peras (Shahak *et al.*, 2008). La malla perla (30%) aumentó el rendimiento de fruta grande y la malla roja 26% redujo el russetting del fruto.

Elad *et al.* (2007) reportaron incrementos en el rendimiento de dos cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivaron bajo mallas negras (25 y 40% de sombra nominal), azul (40% de sombra), azul-plata (40% de sombra), plata (40%), y blanca (25%) en comparación con el testigo sin malla. Sin embargo, no encontraron diferencias en el rendimiento total cuando se compararon las mallas blanca y negra (ambas con 25% de sombra nominal), y el único incremento del rendimiento, comparando las mallas de 40% de sombra, ocurrió en el cv. 'Louisiana', cuyos rendimientos bajo la malla plata fueron superiores a los obtenidos bajo la malla negra o azul. Estos mismos autores mostraron que los factores de sombra reales pueden diferir considerablemente de los valores nominales y que los factores de sombra cambian con el tiempo. Shahak (2008) también informó que la producción de tres cultivares de pimiento se incrementaron en 16 y 32% bajo las mallas perla y roja en comparación con una malla negra.

# **CAPÍTULO 2. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE EN RESPUESTA A RADIACIÓN SOLAR TRANSMITIDA POR MALLAS SOMBRA<sup>1</sup>**

## **2.1. INTRODUCCIÓN**

La utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termorreflectoras es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en la horticultura protegida, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación para evitar el exceso de temperatura durante los períodos cálidos (Valera *et al.*, 2001), o para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001). Las mallas utilizadas con dichos fines son negras y aluminadas, respectivamente. Las primeras se usan más que las segundas porque cuestan menos, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro electromagnético, causando disminución de la fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera *et al.*, 2001). De ahí que recientemente se haya iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008). Son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, y/o intensifica su contenido relativo de dispersión de luz difusa, y/o afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004).

De acuerdo con Shahak *et al.* (2008), la nueva tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz, tales como la fotosíntesis que transforma la energía solar en energía química, utilizando luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar,

---

<sup>1</sup>Artículo científico publicado en: Revista Terra Latinoamericana (ISSN 1870-9982). 29(4):403-410. 2011. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=57322342006>

desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros metabolitos secundarios, en respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fotocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Parks, 2003; Devlin *et al.*, 2007).

La finalidad del presente trabajo de investigación fue valorar agronómicamente la fotoselectividad de mallas sombra de colores, que empiezan a aparecer en la escena de los textiles agrícolas, así como de las mallas sombra negra y aluminada, tradicionalmente usadas en invernaderos por los productores de hortalizas, para determinar su influencia sobre la cantidad y calidad de la radiación solar y, el efecto de cada color de malla en el crecimiento y rendimiento de frutos en plantas de tomate cultivadas en invernadero.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de producción comercial localizado en Culiacán, Sinaloa (24°48'30" N, 107°24'30" O y 38.54 m de altitud). El invernadero está orientado de norte a sur, es de estructura metálica, altura de 4.5 m al canal pluvial y 8.0 m a la cumbre. Está conformado por seis naves de 8.0 m de ancho en una superficie total de 5280 m<sup>2</sup>. La cubierta es en forma de doble arco cerrada con película de plástico incolora (LDPE 180 µ, estabilización tipo Hals, transmisividad ≥ 87%, turbidez ≤ 35%). Sus ventanas son cenitales y perimetrales cerradas con malla anti-insectos (16 x 16 hilos cm<sup>-2</sup>). Contiene sistemas de producción hidropónica, sombreo, tutoreo y monitoreo de temperatura y humedad relativa.

Se utilizaron plántulas de tomate cv. 'Alondra' injertadas en patrones de tomate cv 'Beaufort', producidas en charolas de poliestireno expandido de 128 cavidades, las cuales se trasplantaron a una densidad de 2.4 plantas m<sup>-2</sup>, colocando dos plantas por cada bolsa de polietileno (blanca, 100 µ) con 15 L de tezontle negro. La fertirrigación se manejó conforme al programa de la empresa agrícola mediante un equipo Xilema NP 35.

Se emplearon mallas tejidas, tipo raschel, con un tamaño de orificio de 3x2 mm para 50% de sombra y 6x8 mm para 30% de sombra, de color rojo (RO), azul (AZ), perla (PE) y gris (GR), y de 3x6 mm y 6x8 mm para los mismos porcentajes de sombreo, en las mallas aluminadas (AL) y negras (NE), de acuerdo con los datos del fabricante (Polysack Plastic Industries, Ltd.). Las mallas fueron colocadas antes del trasplante, por encima de los tutores a una altura de 3.5 m, como parte del dispositivo de sombreo móvil del invernadero. No obstante, en el área de influencia del presente estudio y durante todo el ciclo de cultivo, las mallas sombra de colores se mantuvieron extendidas durante el día y solamente se plegaron durante la noche para evitar excesivo incremento de la humedad relativa.

El diseño experimental utilizado en esta investigación consideró los factores color y porcentaje de sombra de las mallas, con seis y dos niveles, respectivamente. De tal manera que las combinaciones posibles formaron 12 tratamientos: NE<sub>50</sub>, NE<sub>30</sub>, GR<sub>50</sub>, GR<sub>30</sub>, AL<sub>50</sub>, AL<sub>30</sub>, AZ<sub>50</sub>, AZ<sub>30</sub>, RO<sub>50</sub>, RO<sub>30</sub>, PE<sub>50</sub> y PE<sub>30</sub>, los cuales se establecieron en el invernadero con cuatro repeticiones, utilizándose tres camas de 8 m de largo como parcela experimental (60 m<sup>2</sup>) y como parcela útil la cama central.

Se realizaron mediciones del espectro de transmisión de radiación solar, en la banda de 350 a 1050 nm a intervalos de 1 nm, por medio de un espectrorradiómetro portátil FieldSpec Pro<sup>®</sup>VNIR (Analytical Spectral Devices, Inc.) equipado con un receptor coseno, el cual se colocó a 1.0 m sobre el nivel del suelo. Todas las mediciones fueron realizadas durante condiciones de cielo despejado entre 12:00 y 13:30 h (hora local) a intervalos de 3 min, en el centro de cada una de las mallas sombra. A partir de los datos obtenidos en dichas mediciones, se analizaron también los intervalos de longitud de onda de 400 a 700 nm (radiación fotosintéticamente activa), 400 a 500 nm (luz azul), 600 a 700 nm (luz roja) y 700 a 800 nm (luz roja lejana).

También se evaluaron aspectos relacionados con el crecimiento de las plantas de tomate, específicamente diámetro y longitud de los tallos, y área foliar específica (área foliar por unidad de peso seco) y el contenido de clorofila en las hojas utilizando un estimador de clorofila SPAD-502<sup>®</sup> (Konica Minolta Sensing, Inc.). Cada

una de estas variables fue obtenida a través del muestreo de 16 plantas por tratamiento.

El rendimiento experimental de tomate se determinó cosechando los frutos en estado de madurez comercial, los cuales se clasificaron en tomate con calidad de exportación, para mercado nacional y no comercial o de rezaga.

Los resultados se examinaron estadísticamente mediante análisis de varianza y prueba de rangos múltiples de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para la separación de medias, con el programa STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc. 2004).

### **2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos indican que las mallas modificaron la cantidad y calidad de la radiación solar percibida por las plantas de tomate (Cuadro 2.1), a causa del color de la malla y su porcentaje de sombra. La radiación total (RT, 350 a 1050 nm) en el cielo abierto y dentro del invernadero era de 599.5 y 272.4 W m<sup>-2</sup>, respectivamente, mientras que la RT transmitida por las mallas varió desde 105.1 y 123.4 W m<sup>-2</sup> bajo las mallas AL<sub>50</sub> y NE<sub>50</sub>, hasta 204 y 211.1 W m<sup>-2</sup> en las mallas AZ<sub>30</sub> y RO<sub>30</sub>, de manera respectiva. La malla RO<sub>30</sub> transmitió 3.1, 9.4, 18.2, 18.7 y 36.3% más radiación total que las mallas azul, perla, gris, aluminada y negra, con ese mismo porcentaje de sombreo, respectivamente. Mientras que entre las mallas con 50% de sombra, la malla perla transmitió 1.2, 2.0, 6.5, 20.9 y 32.6% más radiación total que las mallas roja, gris, azul, negra y aluminada, respectivamente.

De manera semejante ocurrió con la radiación fotosintéticamente activa (RFA, 400 a 700 nm), que en el cielo abierto y dentro del invernadero era de 384.5 y 139.5 W m<sup>-2</sup>, respectivamente, mientras que la malla AL<sub>50</sub> sólo permitió el paso de 50.6 W m<sup>-2</sup> comparados con 94.5 y 97.3 W m<sup>-2</sup> registrados debajo de las mallas RO<sub>30</sub> y AZ<sub>30</sub>, respectivamente. La malla AZ<sub>30</sub> transmitió 2.9, 8.5, 10.2, 10.6 y 30.2% más RFA que las mallas roja, gris, aluminada, perla y negra, con ese mismo porcentaje de sombra, respectivamente. En las mallas con 50% de sombra, la de color gris transmitió 77.4

$W\ m^{-2}$ , los cuales fueron 8.5, 17.7, 19.5, 21.3 y 34.6% mayores a los que transmitieron las mallas perla, azul, negra, roja y aluminada, respectivamente.

En estos resultados se denota que las mallas sombra de colores transmitieron diferentes cantidades de radiación total y fotosintética, lo cual se debe a que en la malla negra sólo la radiación que pasa a través de los orificios de ésta es transmitida, ya que los hilos de plástico negro son esencialmente opacos. En la aluminada, parte de la luz es reflejada y dispersada. Sin embargo, las mallas de colores, las cuales son tejidas más densamente para lograr el mismo efecto de sombreo, una mayor fracción de la radiación solar pasa a través de los hilos plásticos y es filtrada selectivamente (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak, 2008).

Así, los resultados indican que las mallas NE<sub>50</sub> y AL<sub>50</sub> fueron las más eficaces para reducir RT y RFA, ya que sombrearon 54.8 a 61.2 y 55.3 a 63.7%, respectivamente, mientras que las mallas AZ<sub>50</sub>, GR<sub>50</sub>, RO<sub>50</sub> y PE<sub>50</sub> excedieron entre 3.5 y 7.2% la radiación total, y las mallas PE<sub>50</sub> y GR<sub>50</sub> transmitieron 0.8 y 4.5% por arriba de la RFA prevista (50%). Las mallas AZ<sub>50</sub> y RO<sub>50</sub> redujeron 54.3 y 56.3% la RFA. Tal variación entre el porcentaje de sombra de las mallas encontrada en este estudio con respecto a la especificación dada por el fabricante (50%), coincide con los resultados obtenidos en Israel por Oren-Shamir *et al.* (2001), quienes al evaluar mallas de colores (negra, gris, aluminada, verde, roja y azul) con 50% de sombra en el rango de la RFA, encontraron que el sombreo varió de 49.2 a 57.6% en abril y de 50.8 a 59.0% en octubre. Estos hallazgos también coinciden con los resultados de Retamales *et al.* (2008), quienes al comparar la RFA transmitida por mallas negras, blancas, grises y rojas con 35 y 50% de sombra, reportaron que las mallas sombra blanca 35 y 50%, gris 35 y 50% y roja 35% redujeron la RFA en 29%, mientras que las mallas sombra roja 50% y negra 35 y 50% disminuyeron la RFA en 41, 47 y 53%, respectivamente, con respecto a la RFA del tratamiento testigo, sin malla. Quizá por eso, y porque son más baratas, las mallas negras son de las más utilizadas para sombrear plantas y evitar excesos de temperatura durante los períodos con alta radiación solar ( $> 300\ W\ m^{-2}$ ) y como consecuencia más cálidos (Valera *et al.*, 2001).

Respecto a la transmisión de luz azul (A, 400 a 500 nm), roja (R, 600 a 700 nm) y roja lejana (RL, 700 a 800 nm), de nueva cuenta la malla AL<sub>50</sub> fue nuevamente la que transmitió menos luz A, R y RL, con valores respectivos de 15.2, 17.2 y 17.9 W m<sup>-2</sup>, mientras que las mayores transmisiones de luz A se obtuvieron en la malla AZ<sub>30</sub>, con 29.7 W m<sup>-2</sup>, y de luz R y RL debajo de la malla RO<sub>30</sub>, con 38.8 y 40.5 W m<sup>-2</sup>, respectivamente (Cuadro 2.1), revelando también la capacidad fotoselectiva de las mallas de colores para sombrear cualitativamente.

Cuadro 2.1. Cantidad y calidad de la radiación (W m<sup>-2</sup>) transmitida por las mallas de colores.

Mallas	Radiación total (350-1050 nm)	RFA <sup>(1)</sup> (400-700 nm)	Luz azul (400-500 nm)	Luz roja (600-700 nm)	Luz roja lejana (700-800 nm)
NE <sub>50</sub>	123.4 ± 0.32 i <sup>(2)</sup>	62.3 ± 0.24 h	17.8 ± 0.09 j	22.1 ± 0.08 h	21.4 ± 0.07 j
NE <sub>30</sub>	134.5 ± 1.56 h	67.9 ± 0.95 g	19.1 ± 0.30 h	24.3 ± 0.32 g	23.4 ± 0.22 i
GR <sub>50</sub>	152.8 ± 0.25 f	77.4 ± 0.14 e	21.9 ± 0.04 g	27.7 ± 0.05 e	26.5 ± 0.04 h
GR <sub>30</sub>	172.7 ± 1.82 d	89.0 ± 0.93 c	25.0 ± 0.25 c	31.8 ± 0.35 c	29.7 ± 0.30 e
AL <sub>50</sub>	105.1 ± 1.20 j	50.6 ± 0.71 j	15.2 ± 0.22 k	17.2 ± 0.24 j	17.9 ± 0.18 k
AL <sub>30</sub>	171.6 ± 0.39 d	87.4 ± 0.30 d	26.2 ± 0.11 b	29.8 ± 0.08 d	28.6 ± 0.05 g
AZ <sub>50</sub>	145.9 ± 0.85 g	63.7 ± 0.37 h	22.6 ± 0.12 f	18.2 ± 0.11 i	21.4 ± 0.12 j
AZ <sub>30</sub>	204.6 ± 1.67 b	97.3 ± 2.11 a	29.7 ± 0.17 a	32.0 ± 0.32 bc	33.1 ± 0.30 c
RO <sub>50</sub>	154.1 ± 1.01 ef	60.9 ± 0.34 i	15.1 ± 0.06 k	27.7 ± 0.18 e	31.7 ± 0.25 d
RO <sub>30</sub>	211.1 ± 1.87 a	94.5 ± 1.07 b	24.5 ± 0.29 d	38.8 ± 0.40 a	40.5 ± 0.31 a
PE <sub>50</sub>	156.0 ± 0.64 e	70.8 ± 0.28 f	18.5 ± 0.06 i	26.9 ± 0.12 f	29.0 ± 0.12 f
PE <sub>30</sub>	191.3 ± 0.83 c	87.0 ± 0.60 d	23.2 ± 0.17 e	32.4 ± 0.22 b	35.6 ± 0.11 b

<sup>(1)</sup>RFA = radiación fotosintéticamente activa; <sup>(2)</sup>Medias de cuatro repeticiones ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05). NE = negra; GR = gris; AL = aluminada; AZ = azul; RO = roja; PE = perla.

En este sentido, Rajapakse y Kelly (1992) evaluaron la cantidad y calidad de la luz transmitida por filtros espectrales de CuSO<sub>4</sub> al 4, 8 y 16%, y encontraron que además de reducir la radiación total en 26, 36 y 47%, respectivamente, la cual promediaba 950 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, también redujeron la luz R y RL e incrementaron las

relaciones R:RL, A:RL y A:R de luz transmitida comparado con el testigo (filtros de agua). Por su parte, Oren-Shamir *et al.* (2001) al estudiar la luz transmitida por mallas cromáticas indicaron que la malla azul presentó un amplio pico de transmitancia alrededor de los 470 nm, así como de RL más allá de los 750 nm. La malla verde tuvo una transmisión máxima alrededor de los 520 nm, así como un incremento gradual de la transmitancia en RL. La malla roja presentó mayor transmitancia a partir de los 590 nm y un pico menor alrededor de 400 nm. Mientras que las mallas negra, aluminada y gris no modificaron el espectro en el rango visible.

Las variables del crecimiento y verdor (unidades Spad) en hojas evaluadas en las plantas de tomate, también fueron afectadas significativamente por el color y el porcentaje de sombra de las mallas. Así, con la malla perla se promovió mayor diámetro de tallo, con 1.46 cm, el cual fue 5, 9, 9, 12.3 y 29.1% más grueso que los tallos de las plantas que crecieron bajo las mallas roja, azul, negra, aluminada y gris, respectivamente. A la par, el diámetro de tallo se incrementó 6.1% con la malla de 30% de sombra comparado con la respuesta observada bajo la malla de 50% de sombra. Sin embargo, en la longitud del tallo las mallas causaron en las plantas respuestas inversas, no sólo porque éstas crecieron más bajo las mallas con 50% de sombra, sino también porque la longitud de tallo de 267.9 cm alcanzada por las plantas cultivadas en la malla gris, fue significativamente mayor en 2.3, 3.8, 4.4, 5.1 y 5.3% con respecto a la longitud de tallo de las plantas bajo las mallas aluminada, negra, roja, azul y perla, respectivamente. La cantidad y calidad de radiación solar transmitida por las mallas también influyeron significativamente, ya que el diámetro de los tallos se incrementó a causa de mayores cantidades de RT (191.3 a 211.1 W m<sup>-2</sup>), RFA (87 a 97.3 W m<sup>-2</sup>) y luz A (23.2 a 29.7 W m<sup>-2</sup>) o R (32 a 38.8 W m<sup>-2</sup>) transmitidas por las mallas RO<sub>30</sub>, AZ<sub>30</sub> y PE<sub>30</sub>; mientras que menores transmisiones de RT (105.1 a 152.8 W m<sup>-2</sup>) y RFA (50.6 a 77.4 W m<sup>-2</sup>) encontradas bajo las mallas GR<sub>50</sub> y AL<sub>50</sub> provocaron que la longitud de los tallos aumentara (Cuadro 2.2). El área foliar específica en plantas que crecieron bajo la malla azul, de 182.9 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, superó desde 3.7 hasta 17.4% los valores obtenidos con las mallas aluminada y perla, respectivamente. Asimismo, el mayor porcentaje de sombra de la malla incrementó en 9.3% dicha variable de respuesta. Tal parece que la mayor área foliar específica

alcanzada bajo la influencia de las mallas AZ<sub>50</sub> y AL<sub>50</sub>, se debió a que recibieron menores cantidades de RT (105.1 a 145.9 W m<sup>-2</sup>) y RFA (50.6 a 63.7 W m<sup>-2</sup>), y consecuentemente se aumentó el área foliar por gramo de peso seco, es decir, las plantas produjeron hojas más grandes pero también más delgadas (Páez *et al.*, 2000); mientras que bajo la influencia de las mallas PE<sub>30</sub> y RO<sub>30</sub> se observaron los valores más bajos, o sea, mayor peso por unidad de área foliar, traducidos en hojas de mayor espesor y fotosintéticamente más aptas (Oguchi *et al.*, 2003). Por otro lado, los niveles más altos de verdor (> 40 unidades Spad) se correlacionaron con incrementos en la transmisión de RT, RFA y luz A o R, captada por las plantas que crecieron bajo las mallas AZ<sub>30</sub>, RO<sub>30</sub>, AL<sub>30</sub>, PE<sub>30</sub> y GR<sub>30</sub>, lo que coincide con Murchie y Horton (1998), quienes observaron una relación positiva entre las variables referidas (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Efectos ocasionados por las mallas de colores en aspectos del crecimiento y clorofila foliar de plantas de tomate.

Mallas	Diámetro de tallo (cm)	Longitud de tallo (cm)	AFE <sup>(1)</sup> (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> de PS <sup>(2)</sup> )	Verdor (unidades Spad)
NE <sub>50</sub>	1.33 ± 0.13 cd <sup>(3)</sup>	257.8 ± 14.2 c-e	163.2 ± 2.7 de	35.0 ± 3.1 d
NE <sub>30</sub>	1.34 ± 0.12 b-d	258.6 ± 6.9 c-e	164.0 ± 4.1 de	38.4 ± 4.2 b-d
GR <sub>50</sub>	1.27 ± 0.14 d	270.4 ± 8.1 a	172.8 ± 6.1 c-e	35.7 ± 4.1 d
GR <sub>30</sub>	1.28 ± 0.14 d	265.4 ± 8.7 a-c	186.0 ± 45.5 a-c	40.2 ± 4.6 ab
AL <sub>50</sub>	1.25 ± 0.12 d	268.8 ± 14.8 ab	191.6 ± 39.7 ab	36.0 ± 3.7 cd
AL <sub>30</sub>	1.35 ± 0.12 b-d	255.2 ± 8.9 de	172.0 ± 10.1 c-e	42.8 ± 5.4 a
AZ <sub>50</sub>	1.25 ± 0.16 d	259.5 ± 14.8 b-e	199.7 ± 9.3 a	39.7 ± 8.3 a-c
AZ <sub>30</sub>	1.42 ± 0.12 a-c	250.3 ± 11.4 de	166.1 ± 7.6 de	43.1 ± 5.0 a
RO <sub>50</sub>	1.35 ± 0.13 b-d	259.4 ± 15.0 b-e	180.7 ± 23.1 b-d	38.6 ± 3.9 b-d
RO <sub>30</sub>	1.44 ± 0.10 ab	253.8 ± 10.4 de	159.0 ± 1.9 ef	42.5 ± 4.7 a
PE <sub>50</sub>	1.43 ± 0.12 a-c	259.4 ± 14.1 b-e	165.6 ± 9.5 de	36.2 ± 3.8 cd
PE <sub>30</sub>	1.49 ± 0.12 a	249.4 ± 17.5 e	145.9 ± 1.9 f	41.5 ± 4.8 ab

<sup>(1)</sup>Área foliar específica; <sup>(2)</sup>Peso seco; <sup>(3)</sup>Medias de 16 repeticiones ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Dichas características están relacionadas con el vigor (Degli *et al.*, 2003) y el estado nutricional de las plantas, especialmente afín a la concentración de nitrógeno en las hojas (Rodríguez *et al.*, 1998), e influidas por ambientes enriquecidos con luz R y A, de mayor eficiencia fotosintética (Zeinalov y Maslenkova, 2000); también se corresponden con efectos fotomorfogénicos regulados por fitocromos y criptocromos, ligados a la extensión del tallo o la expansión foliar (Decoteau *et al.*, 1993), el desarrollo de cloroplastos (Chun *et al.*, 2001) y la cantidad de clorofila en las hojas (Carter y Spiering, 2002).

El rendimiento de tomate fue significativamente afectado por el color y el porcentaje de sombra de las mallas, pues con la perlada se incrementó de 16.7 a 31.2% el rendimiento total comercial (RTC) obtenido con cualquier otro color de malla, la cual con 30% de sombra indujo un rendimiento 19.9% mayor con respecto al obtenido con la malla de 50% de sombra. De la misma forma, las diferentes cantidades y calidades de radiación solar encontradas en cada uno de los tratamientos estudiados influyeron en el rendimiento de tomate (Cuadro 2.3). Con 191.3 W m<sup>-2</sup> de RT y 87.0 W m<sup>-2</sup> de RFA encontradas en la malla PE<sub>30</sub> se alcanzaron los valores más altos en RTC, con calidad de exportación (RE) y de rezaga (RR); mientras que con 145.9 W m<sup>-2</sup> de RT y 63.7 W m<sup>-2</sup> de RFA transmitidas por la malla AZ<sub>50</sub> se cosechó más tomate para mercado nacional (RN). Las mallas con 30% de sombreo influyeron para conseguir mayores RTC, RE y RR, aunque sin diferencia estadística con las mallas con 50% de sombreo en el RN. Así, con la malla PE<sub>30</sub> se obtuvo un RTC de 169.4 Mg ha<sup>-1</sup>, estadísticamente igual al conseguido con las mallas AZ<sub>30</sub>, PE<sub>50</sub>, NE<sub>30</sub>, GR<sub>30</sub> y AL<sub>30</sub>; aunque en valores absolutos los superó desde 16 hasta 22%. Los menores RTC se obtuvieron con las mallas AL<sub>50</sub> y NE<sub>50</sub> (RT/RFA: 105.1/50.6 y 123.4/62.3, respectivamente), 40 y 36% menos con respecto a PE<sub>30</sub>.

Los mayores rendimientos de frutos obtenidos cuando se registraron mayores transmisiones de RT y RFA, coinciden con lo informado por El-Aidy (1991), quien reportó que el rendimiento de pepino se incrementó conforme redujo el sombreo de 63 a 40% durante la etapa de verano. Estos resultados también son congruentes con Shahak *et al.* (2008), quienes utilizaron mallas roja, amarilla y perla con 30 a 40% de

sombra y obtuvo rendimientos de pimiento morrón de 115 a 135% más altos comparados con el rendimiento que cosechó con la malla negra del mismo nivel de sombra. Adicionalmente, de acuerdo con Shahak *et al.* (2004) la malla perla (PE) tiene una mayor difusión de luz (62%) que las mallas roja (35.6%), amarilla (44.1%), azul (26.0%), gris (20.1%) y negra (11.4%). Esta última malla, incluso con un valor de luz difusa menor al 13.3% encontrado en el tratamiento sin malla (cielo abierto), demuestra que esencialmente no difunde la luz. También refieren que debido a que la luz difusa penetra mejor los doseles densos, la exposición de las plantas a la luz total bajo las mallas de colores (difusoras) es mayor que en las mallas negras. Por lo que las plantas bajo una malla de color con 30% de sombra realmente capta más luz que aquellas bajo una malla sombra negra 30%.

Las mallas también influyeron significativamente en el rendimiento de tomate con calidad para exportación. Con la malla perla se incrementó de 36.7 a 61.5% el RE obtenido con cualquier otro color de malla, la cual con 30% de sombra indujo un rendimiento 30.9% mayor con respecto al obtenido con la malla de 50% de sombra. Con las cantidades de RT ( $191.3 \text{ W m}^{-2}$ ) y RFA ( $87.0 \text{ W m}^{-2}$ ) cuantificadas bajo la malla PE<sub>30</sub> se cosechó el máximo RE,  $136.8 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Después se ubicaron los RE logrados con las mallas PE<sub>50</sub> y NE<sub>30</sub> (RT/RFA: 156.0/70.8 y 134.5/67.9, respectivamente), en las cuales se cosechó 23 y 25% menos que en PE<sub>30</sub> (Cuadro 2.3). De igual manera que en el RTC, el menor RE se obtuvo con la malla AL<sub>50</sub>, seguida de las mallas AZ<sub>50</sub> y NE<sub>50</sub>, donde se cosecharon 55, 51 y 46% menos que en la malla PE<sub>30</sub>. Estos resultados coinciden con los de Fallik *et al.* (2009), quienes encontraron que el pimiento morrón cultivado en una región árida bajo mallas sombra de color rojo y amarillo, tuvo un rendimiento de fruta con calidad de exportación significativamente mayor en comparación con la malla sombra negra del mismo nivel de sombreado; asimismo, concuerdan con los obtenidos por El-Aidy (1991), quien informó que la calidad de los frutos de pepino se incrementó conforme redujo el sombreado de 63 a 40% en verano, obteniendo con 40% de sombra los mejores resultados.

Con respecto al efecto ocasionado por mallas sombra de colores sobre la RFA transmitida y el rendimiento de frutos por las plantas, también hay coincidencia con los resultados de Retamales *et al.* (2008), quienes al comparar el rendimiento de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) obtenido bajo mallas de colores con respecto a un testigo sin malla, encontraron que con la malla blanca de 35% de sombra, se incrementaron los rendimientos en 90.5 y 44.6%, 59.6 y 24.9% con la malla gris 35% y, 84.2 y 31.9% con la malla roja 50% en dos años consecutivos, respectivamente. Estos autores también indicaron que la malla negra, comúnmente utilizada por los agricultores, tuvo efectos negativos sobre el rendimiento. Los rendimientos con la malla sombra negra 35% fueron 37.2 y -8%, mientras que con la malla sombra negra 50% fueron -3.2 y -28% con respecto al testigo sin malla, durante los dos años, respectivamente.

El RN logrado con la malla azul superó de 4.5 a 62.7% al obtenido con cualquier otro color de malla y tuvo su mejor expresión con la radiación solar transmitida por la malla AZ<sub>50</sub> (48.4 Mg ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, su valor fue estadísticamente igual al RN obtenido con la cantidad y calidad de la radiación solar presente bajo las mallas GR<sub>50</sub> AZ<sub>30</sub>, AL<sub>30</sub>, GR<sub>30</sub> y AL<sub>50</sub>, con las cuales se superó el rendimiento logrado en el testigo comercial (NE<sub>50</sub>), en porcentajes que fluctuaron desde 10 hasta 28% (Cuadro 2.3).

La mayor cantidad de tomate de rezaga (RR) ocurrió con la radiación solar transmitida por la malla PE<sub>30</sub>, donde se obtuvieron 13.5 Mg ha<sup>-1</sup>. El menor RR (3.7 Mg ha<sup>-1</sup>) se obtuvo en las mallas AL<sub>50</sub> y AZ<sub>50</sub>. Dichos volúmenes de frutos, comparados con el RTC bajo las mismas condiciones, representaron 8, 4 y 3%, respectivamente (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Efecto causado por la radiación solar transmitida por las mallas de colores en la calidad del rendimiento ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de tomate en invernadero.

Mallas	Total comercial	Exportación	Nacional	Rezaga
NE <sub>50</sub>	107.8 ± 25.6 bc <sup>(1)</sup>	73.0 ± 17.3 c-e	34.9 ± 8.3 b-e	7.2 ± 1.7 c-e
NE <sub>30</sub>	136.1 ± 32.3 a-c	103.4 ± 24.5 b	32.7 ± 7.8 c-e	9.7 ± 2.3 bc
GR <sub>50</sub>	126.0 ± 29.9 bc	80.2 ± 19.0 b-e	45.9 ± 10.9 ab	5.6 ± 1.3 ef
GR <sub>30</sub>	135.5 ± 32.1 a-c	92.9 ± 22.0 b-d	42.5 ± 10.1 a-c	6.8 ± 1.6 de
AL <sub>50</sub>	100.3 ± 23.8 c	61.4 ± 14.6 e	38.9 ± 9.2 a-d	3.7 ± 0.9 f
AL <sub>30</sub>	132.6 ± 31.5 a-c	88.7 ± 21.0 b-e	44.0 ± 10.4 a-c	8.9 ± 2.1 cd
AZ <sub>50</sub>	114.9 ± 27.3 bc	66.5 ± 15.8 de	48.4 ± 11.5 a	3.7 ± 0.9 f
AZ <sub>30</sub>	142.1 ± 33.7 ab	98.1 ± 23.3 bc	43.9 ± 10.4 a-c	7.5 ± 1.8 c-e
RO <sub>50</sub>	112.5 ± 26.7 bc	82.7 ± 19.6 b-e	29.8 ± 7.1 de	5.6 ± 1.3 ef
RO <sub>30</sub>	121.4 ± 28.8 bc	94.5 ± 22.4 bc	27.0 ± 6.4e	9.5 ± 2.3 bc
PE <sub>50</sub>	135.9 ± 32.2 a-c	105.4 ± 25.0 b	30.6 ± 7.3 de	11.6 2.7 ab
PE <sub>30</sub>	169.4 ± 40.2 a	136.8 ± 32.4 a	32.6 ± 7.7 c-e	13.5 ± 3.2 a

<sup>(1)</sup>Medias de cuatro repeticiones ± desviación estándar con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Los frutos más cosechados en la mayoría de los tratamientos correspondieron a los calibres 32, 35 y 39. El RE logrado con la malla perla en 87.5% estuvo compuesto por frutos de esos calibres, superando en 40.8 y 76, 36.2 y 47.5, 59.6 y 101.4% los rendimientos de dichos frutos obtenidos con las mallas negra y aluminada, respectivamente. Con respecto a los mismos calibres, en la malla con 30% de sombra se produjo 66.7, 34.9 y 24.7% más rendimiento comparado con la malla de 50% de sombra. De hecho, el rendimiento de tomate de los cinco calibres más grandes (22, 28, 32, 35 y 39) fue mayor con 30% de sombreado; mientras que en los calibres más pequeños (45 y 52) las mallas con 30 o 50% de sombra presentaron rendimientos semejantes. La radiación solar transmitida por la malla PE<sub>30</sub> promovió mayores rendimientos de tomate en cuatro de los cinco calibres más grandes analizados (22, 32, 35 y 39), aunque en dos de ellos fue estadísticamente igual a los rendimientos obtenidos con las mallas GR<sub>30</sub> y NE<sub>30</sub> (32) o la malla AZ<sub>30</sub> (35). Los

mayores rendimientos de tomate calibre 28 se lograron con las mallas GR<sub>30</sub> y NE<sub>30</sub>. Bajo las mallas rojas, perladas, grises, negras y AZ<sub>30</sub> se presentaron los mayores rendimientos de tomate calibre 45, mientras que la radiación solar transmitida por la malla GR<sub>50</sub> influyó para que el rendimiento de tomate del calibre más pequeño (52) fuera mayor (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Distribución de calibres en el rendimiento (Mg ha<sup>-1</sup>) de tomate con calidad de exportación obtenido con las mallas de colores.

Mallas	Calibre de los frutos						
	22 <sup>(1)</sup>	28 <sup>(1)</sup>	32 <sup>(1)</sup>	35 <sup>(1)</sup>	39 <sup>(1)</sup>	45 <sup>(1)</sup>	52 <sup>(1)</sup>
NE <sub>50</sub>	0.37 e <sup>(2)</sup>	1.46 d-f	7.24 f	27.40 c-e	23.35 cd	9.51 a-d	3.65 b-d
NE <sub>30</sub>	0.73 d	4.67 a	16.82 ab	37.85 bc	29.55 bc	10.73 ab	3.04cde
GR <sub>50</sub>	0.73 d	1.17 ef	10.28 d-f	29.57 c-e	21.41 cd	10.58 ab	6.45 a
GR <sub>30</sub>	0.73 d	4.08 ab	18.69 a	33.32 b-e	21.58 cd	10.27 a-c	4.26 b
AL <sub>50</sub>	0.37 e	2.04 cd	7.24 f	24.84 de	17.69 d	6.75 d	2.43 e
AL <sub>30</sub>	1.46 c	3.50 b	11.91 c-e	35.29 b-d	24.24 cd	8.13 b-d	4.14 bc
AZ <sub>50</sub>	0.73 d	1.75 c-e	8.18 ef	24.05 e	20.00 d	7.51 cd	4.26 b
AZ <sub>30</sub>	1.83 b	2.33 c	12.61 cd	42.78 ab	25.30 cd	9.97 a-c	3.28 b-e
RO <sub>50</sub>	1.46 c	0.88 f	8.18 ef	31.94 c-e	25.48 cd	11.35 a	3.41 b-e
RO <sub>30</sub>	0.37 e	1.75 c-e	13.55 b-d	36.08 bc	29.02 bc	9.35 a-d	4.38 b
PE <sub>50</sub>	1.46 c	1.75 c-e	14.48 bc	37.46 bc	35.56 b	10.89 ab	3.77 bc
PE <sub>30</sub>	2.96 a	3.50 b	19.39 a	51.26 a	49.01 a	8.89 a-d	2.55 de

<sup>(1)</sup>Número de frutos por caja (tipo charola con una sola tanda de frutos); <sup>(2)</sup>Medias con letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

## CAPÍTULO 3. PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN CON MALLAS SOMBRA DE COLORES<sup>2</sup>

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El chile es una planta que pertenece al género *Capsicum*, que incluye aproximadamente 25 especies, y tiene su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. En 2011 se produjeron 29.9 millones de toneladas en 1.9 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2013); en este mismo año, México produjo 2.1 millones de toneladas en 144,391 ha, de los cuales 7.5% de la superficie cosechada y 14.1% de la producción obtenida correspondió al estado de Sinaloa (SIAP, 2013). En el país, la mayor parte de la producción de pimiento morrón se destina a la exportación, tanto la que se genera a campo abierto como bajo condiciones protegidas; de esta variedad se siembran aproximadamente 5,800 ha, con rendimientos en campo hasta de 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y la exportación a los Estados Unidos y Canadá fue de 240,000 t en 2006 (Castellanos y Borbón, 2009).

El pimiento morrón se cultiva en tres sistemas de producción: campo abierto, casa sombra e invernadero. Con este último el agricultor logra mayores rendimientos; sin embargo, la construcción de un invernadero significa una inversión importante que debe analizarse cuidadosamente (Cruz *et al.*, 2009). Una alternativa relativamente económica es el uso de la malla sombra, que protege las plantas de una alta radiación solar directa y, en consecuencia, reduce el número de frutos con “golpe de sol” (Rylski y Spigelman, 1986), además de que se obtienen plantas más vigorosas con frutos de mejor calidad y mayores rendimientos que en campo abierto (Gruda, 2005).

Las mallas sombra se fabrican con diferentes materiales, como el polietileno, el polipropileno y el poliéster o derivados acrílicos, y también con distintos grados de transmisión, absorción y reflexión de la radiación solar, y de porosidad al aire

---

<sup>2</sup>Artículo científico publicado en: Revista Fitotecnia Mexicana (ISSN 0187-7380). 38(1):93-99. 2015. Disponible en: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/38-1/10a.pdf>

(Matallana y Montero, 2001). Sin embargo, la mayoría de mallas en uso son negras y poco selectivas, que reducen tanto la transmisión de radiación fotosintéticamente activa como la del infrarrojo cercano (Hemming *et al.*, 2006; Bastida y Ramírez, 2008) y no contribuyen a optimizar la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal.

Con los nuevos diseños de mallas y la mejor calidad de plásticos se pueden crear ambientes que influyen favorablemente en el cultivo de hortalizas (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011). Las mallas de colores pueden fomentar la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz, tales como fotosíntesis y fotomorfogénesis, que producen efectos sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y metabolitos secundarios, en respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fitocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Devlin *et al.*, 2007). El grado de sombreo de la malla se escoge de tal forma que al mediodía las plantas reciban, por lo menos, una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación lumínica (Matallana y Montero, 2001).

El objetivo de este trabajo fue comparar la influencia de mallas sombra de colores verde, rojo, beige y azul, sobre la transmisión de radiación fotosintéticamente activa, la temperatura y humedad relativa del aire, el crecimiento de las plantas y el rendimiento del pimiento morrón, con respecto a la malla sombra negra convencionalmente utilizada por los horticultores como testigo comercial o testigo positivo, y un tratamiento a cielo abierto, sin protección como testigo negativo.

### **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó en un campo experimental ubicado en Culiacán, Sinaloa, México, a 24° 37' 24.40" N, 107° 26' 35.69" O y 38 m de altitud. El suelo del sitio es del tipo vertisol crómico (FAO, 2007), con coloración gris oscuro cuando seco y gris al humedecerse, cuyo drenaje superficial es regular. La capacidad de campo del

suelo es de 64% y el punto de marchitamiento permanente de 39%, por lo que la humedad aprovechable es de 25% con base en el peso de suelo seco. Su contenido de materia orgánica es menor a 1%; con menos de 0.002% de nitrógeno, alrededor de 17.5 y 300 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo y potasio, respectivamente; pH entre 7.5 y 8, y conductividad eléctrica menor de 1.0 dS m<sup>-1</sup>. El clima [BS1(h´)w(w) (e)] es semiseco, muy cálido, extremoso con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 25.9 °C y una precipitación media anual de 672 mm (García, 2004).

Para la siembra se utilizaron semillas de pimiento morrón cv. 'Guardián'. La siembra se efectuó en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades rellenas con turba como sustrato, en condiciones de invernadero, con el manejo de nutrición y fitosanidad acostumbrado por los horticultores.

La preparación del suelo consistió de un paso de rastra para la incorporación de residuos vegetales del cultivo anterior, seguido de un barbecho profundo, rastreo cruzado para desmenuzar terrones y dos pasos con bordero para la formación de camas separadas a 1.8 m. Después de la colocación de la cinta de riego por goteo, las camas fueron acolchadas con polietileno coextruido blanco sobre negro, con el fin de evitar el desarrollo de malezas.

El trasplante se llevó a cabo en noviembre de 2010, a doble hilera, con distancias de 0.5 m entre plantas y 1.8 m entre hileras, para una densidad de 22,200 plantas ha<sup>-1</sup>. Para apoyar el crecimiento vertical de las plantas se recurrió a un sistema de tutoreo muy parecido al tradicional, ya que en lugar de estacones se utilizaron postes de madera de 7 a 8 cm de diámetro por 2.5 m de altura, los cuales se colocaron distanciados 3.0 m uno de otro y unidos en el extremo superior con alambre galvanizado calibre 14; las plantas fueron sujetadas con hilos de rafia colocados horizontalmente uno sobre otro cada 20 a 25 cm, a lo largo de la hilera de plantas.

Encima de los postes de madera así como en las partes laterales, posteriores y frontales, se colocaron las mallas para formar estructuras tipo casa sombra de techo plano. Se emplearon mallas tipo mosquitera, tejidas con monofilamentos redondos de polietileno de color verde, rojo, beige o azul, dispuestos en un sentido, y

monofilamentos redondos negros en el otro sentido del tejido, así como una malla totalmente negra; todas diseñadas para obtener 50% de sombra (Ombra 50®), de acuerdo con las especificaciones del fabricante (Tenax S.A. de C.V.; México).

Durante los 151 d que duró el ciclo el cultivo se fertirrigó con frecuencias y cantidades de nutrientes que dependieron de las condiciones climáticas, la fenología de las plantas y la humedad del suelo medida con tensiómetros 2725ARL (*Soilmoisture Equipment Corp.*; USA). La aplicación del riego se hizo cuando la tensión de humedad alcanzó valores de 20 a 25 kPa en los tensiómetros colocados a 30 cm de profundidad. En total se aplicó una lámina de agua de 206 mm y una fertilización de 389, 157, 365, 107 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Se hizo un estricto control fitosanitario con énfasis en la prevención, mediante un programa de aplicaciones de productos agrobiológicos y agroquímicos, dirigidos a los insectos plaga y patógenos causantes de enfermedades comunes al pimiento morrón cultivado en la región.

El experimento consistió en comparar seis tratamientos: (1) malla verde, (2) malla roja, (3) malla beige, (4) malla azul, (5) un testigo comercial con malla negra y (6) un testigo negativo sin malla (cielo abierto), distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de tres camas de 20 m de largo (150 m<sup>2</sup>) y la parcela útil fue la cama central (50 m<sup>2</sup>), sin considerar 2.5 m en cada extremo para evitar el efecto de orilla.

Cada 15 d se evaluó la radiación fotosintéticamente activa (RFA) entre 400 y 700 nm de longitud de onda, a cielo abierto y la transmitida por las mallas, con un radiómetro LI-250® acoplado a un sensor cuántico LI-190SA® (LI-COR, Inc.; USA). Diariamente se registró la temperatura y la humedad relativa del aire con higrotermómetros 4184CP® (Cole-Parmer, Co.; USA). El radiómetro LI-250 utilizado en esta investigación mide el flujo de fotones de manera instantánea, en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , pero el crecimiento vegetal está determinado por el flujo integrado diario (RFAD), expresado en mol m<sup>-2</sup>. Así que las RFAD fueron calculadas a partir de los datos instantáneos.

Las variables medidas en las plantas fueron: diámetro del tallo principal, con un

vernier CALDI-6MP® (Truper Herramientas; México); altura de las plantas, con una cinta flexible graduada; y área foliar de la hoja madura más reciente, con un medidor LI-3000A® (LI-COR, Inc.; USA). Las mediciones se hicieron semanalmente en 18 plantas y 36 hojas por tratamiento, respectivamente.

Para registrar la producción, dos veces por semana se cosecharon los frutos que medían al menos 6.4 cm de diámetro y longitud. A partir de los cortes, se determinó el número de frutos producidos por planta, el rendimiento total comercial, el rendimiento con calidad de exportación, que incluyó los frutos con no menos de 7.6 cm de diámetro y no menos de 8.9 cm de longitud (USDA, 2005), y la producción de frutos 'rezaga' sin calidad comercial debido a defectos como quemaduras de sol, deformidades, decoloraciones y cicatrices. Los datos recabados, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se sometieron a análisis de varianza y prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la comparación de medias, con el programa STATISTICA 7.0 (StatSoft, 2004).

### **3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Durante el periodo diurno, desde las 7:00 hasta las 18:00 h, el mayor flujo de RFA se presentó entre las 13:00 y 14:00 h, con un máximo de  $1263 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a cielo abierto, y flujos máximos de 782, 826, 798, 778 y  $737 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  transmitidos a través de las mallas verde, roja, azul, beige y negra, respectivamente (Figura 3.1). Las plantas de pimiento morrón cultivadas a cielo abierto recibieron significativamente más RFAI que las cultivadas bajo las mallas sombra verde, roja, beige, azul y negra, las cuales transmitieron 58.5, 55.7, 56.8, 55.5 y 52.1% del flujo integrado diario registrado a cielo abierto ( $26.37 \text{ mol m}^{-2}$ ), respectivamente, sin diferencia estadística entre sí (Cuadro 3.1).

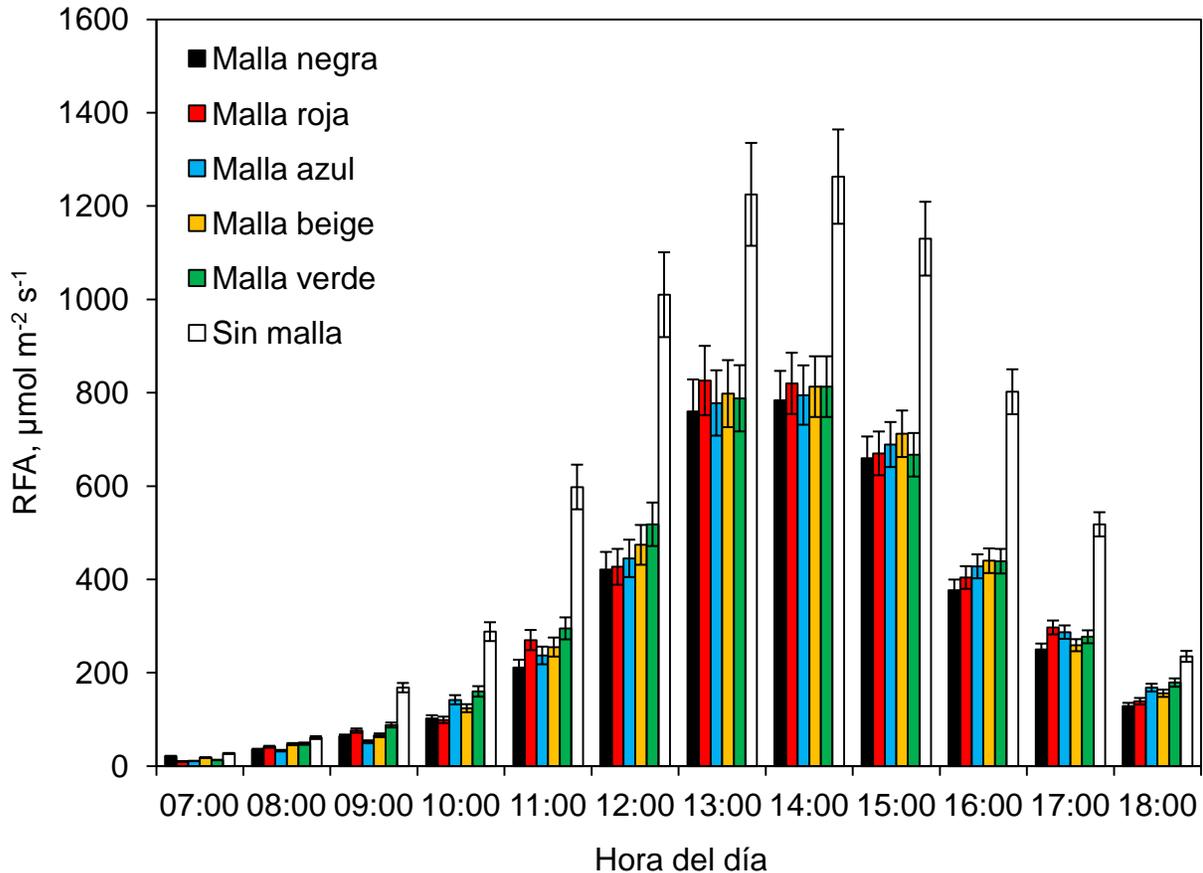


Figura 3.1. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) recibida por las plantas de pimiento morrón cultivadas a cielo abierto (sin malla) y con mallas sombra. Promedios de ocho mediciones  $\pm$  error estándar.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Leite *et al.* (2008) y Ayala-Tafuya *et al.* (2011), quienes observaron diferencias entre las mallas de color y su transmisión de RFA, aunque ellos utilizaron mallas tipo “raschel” tejidas con cintas de polietileno, a las cuales se le atribuyen propiedades ópticas especiales, como modificar de forma específica el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, intensificar su dispersión (luz difusa) o afectar sus componentes térmicos (región infrarroja), gracias al diseño del tejido y a los aditivos químicos cromáticos incorporados al momento de su fabricación (Shahak *et al.*, 2004; Ganelevin, 2008).

Las mallas de colores utilizadas en esta investigación, aunque fabricadas con características semejantes a la malla negra y con transmisiones estadísticamente

iguales, en valores absolutos transmitieron desde 6.5% hasta 12.3% más RFAI que la transmitida por la malla negra. De la misma manera, aunque las mallas disminuyeron la temperatura de 0.5 a 0.9 °C, dicho efecto no fue estadísticamente significativo. Sin embargo, los incrementos que ocurrieron en la HR sí lo fueron, ya que con la malla negra aumentó en 9.1% y con las mallas de colores de 15.9 a 21.0%, comparadas con la HR registrada a cielo abierto (Cuadro 3.1). Según Tanny (2013), las mallas reducen la ventilación y, por consiguiente, la eliminación de vapor de agua de la casa sombra, por lo que en la mayoría de las veces la humedad interna llega a ser mayor que la externa.

Cuadro 3.1. Promedios diarios de radiación fotosintéticamente activa integrada (RFAI), temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de pimiento morrón, con y sin mallas sombra.

Tratamientos	RFAI (mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Temperatura máxima (°C)	Humedad relativa (%)
Malla verde	15.43 ± 1.27 b <sup>(1)</sup>	34.6 ± 0.69 a	46.7 ± 1.91 ab
Malla roja	14.69 ± 1.56 b	34.3 ± 0.98 a	51.4 ± 2.02 a
Malla beige	14.98 ± 1.10 b	34.3 ± 0.52 a	51.8 ± 1.62 a
Malla azul	14.63 ± 1.21 b	34.3 ± 0.63 a	50.8 ± 2.14 a
Malla negra	13.73 ± 0.69 b	34.7 ± 0.58 a	39.9 ± 1.39 b
Sin malla	26.37 ± 0.92 a	35.2 ± 0.35 a	30.8 ± 1.62 c
DMSH	6.17	3.48	8.64

<sup>(1)</sup>Medias ± error estándar con la misma letra en una columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Lo anterior es trascendente porque en los cultivos protegidos la HR interviene en varios procesos, como el amortiguamiento de los cambios de temperatura, aumento o disminución de la transpiración, crecimiento de los tejidos, viabilidad del polen para la fecundación del ovario de las flores y el desarrollo de enfermedades (Bastida y Ramírez, 2008; Lorenzo, 2012). Al respecto, Jurado y Nieto (2003) indicaron que el nivel óptimo de HR para pimiento morrón está comprendido entre 50 y 70%; si la

humedad es más alta y la vegetación es exuberante el cultivo se expone a fuertes ataques de *Botrytis cinerea* y otros patógenos causantes de enfermedades, además de dificultar la fecundación de las flores, mientras que si la humedad es baja y la temperatura es elevada ocurre caída de flores y de frutos recién cuajados. En ese mismo sentido Jaimez *et al.* (2005) encontraron que los valores de HR más bajos (47 a 50%) se obtienen en torno a las 14:00 h, en coincidencia con los máximos valores de temperatura y radiación.

De manera general, las mallas propiciaron un incremento en la altura de las plantas de pimiento morrón (Cuadro 3.2), que según Salisbury y Ross (2000) es una respuesta a la reducción de la luz. Dicho efecto ocurrió de manera significativa con las mallas negra, beige, roja y verde, donde las plantas crecieron desde 23.1% hasta 33.0% más que las cultivadas a cielo abierto, alargamiento quizás debido al incremento en la proporción de luz roja lejana (RL) con respecto a luz roja (R) o azul (A) en la radiación transmitida por las mallas de colores rojo, naranja, amarillo o verde, como han señalado varios autores (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2008; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011), condiciones que promueven dicho efecto fotomorfogénico (Mortensen y Stromme, 1987; Rajapakse y Kelly, 1992), con la participación de giberelinas (AG), como la conversión de formas inactivas a formas activas inducidas por la luz RL y controlada por fitocromos (Hedden y Kamiya, 1997; Rajapakse *et al.*, 1999).

Bajo la malla azul las plantas crecieron 16 % más que a cielo abierto, pero 6.1, 6.9, 12.5 y 14.6% menos que las cultivadas bajo las mallas beige, negra, roja y verde, respectivamente, lo cual concuerda con la respuesta de plantas de diferentes especies a la luz transmitida por mallas azules (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2008). Otros autores citados por Rajapakse *et al.* (1999), también reportaron reducción de la altura ocasionada por la luz A, ya sea transmitida por filtros espectrales de  $\text{CuSO}_4$ , películas plásticas o materiales textiles de color azul, los cuales transmitieron cocientes menores de luz RL:R o RL:A, o mantenían proporciones parecidas a las de la luz solar natural. A pesar del alargamiento del tallo, su grosor no fue significativamente diferenciado por las mallas sombra.

El tamaño de las hojas también fue significativamente influido por las mallas sombra (Cuadro 3.2), especialmente con las de color verde y rojo, las cuales propiciaron incrementos de 92.2 y 80.4%, comparados con el área foliar de las plantas que crecieron a cielo abierto. Ésta también parece ser una respuesta a la reducción de la luz (Salisbury y Ross, 2000) y al incremento en la proporción de luz roja lejana con respecto a luz roja o azul que promueve la respuesta fotomorfogénica de expansión foliar (Mortensen y Stromme, 1987; Rajapakse y Kelly, 1992).

Con la malla azul el área foliar fue menor que con las otras mallas cromáticas, pero estadísticamente igual que con la malla negra y que con las plantas cultivadas a cielo abierto. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Mortensen y Stromme (1987), Rajapakse y Kelly (1992) y Oren-Samhir *et al.* (2001), quienes observaron plantas y hojas más compactas a cielo abierto y en ambientes enriquecidos con luz azul.

Si bien las condiciones de cultivo, con o sin malla sombra, no afectaron al número de frutos producidos por planta (Cuadro 3.2), hubo diferencias significativas en los rendimientos de pimiento morrón con calidad para exportación, total comercial y de rezaga (Cuadro 3.3). Así, con las mallas cromáticas se lograron rendimientos más altos de frutos con calidad de exportación, estadísticamente iguales entre sí, pero de 43.1 a 52.7% mayores al rendimiento obtenido con la malla negra, y de 118.1 a 132.8% superiores al conseguido a campo abierto sin malla sombra. Estos resultados fueron muy similares a los del rendimiento total comercial (exportación + nacional), ya que la proporción de frutos que no alcanzaron la calidad de exportación, pero tuvieron características adecuadas para el mercado nacional, fluctuó de 4 a 6 % en las mallas cromáticas, 7.4% en la malla negra y 10.4% en el tratamiento sin malla, aunque sin diferencias estadísticas entre los rendimientos que corresponden a estos valores (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.2. Crecimiento y fructificación de plantas de pimiento morrón cultivado con y sin mallas sombra.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Área foliar <sup>(1)</sup> (cm <sup>2</sup> )	Número de frutos /planta
Malla verde	84.6 ± 3.58 a <sup>(2)</sup>	1.57 ± 0.13 a	128.6 ± 5.83 a	14.0 ± 1.27 a
Malla roja	83.0 ± 3.52 a	1.51 ± 0.09 a	120.7 ± 4.73 ab	13.5 ± 1.56 a
Malla beige	78.3 ± 3.41 a	1.61 ± 0.09 a	105.4 ± 4.56 bc	14.9 ± 1.10 a
Malla azul	73.8 ± 3.87 ab	1.59 ± 0.06 a	85.4 ± 3.87 cd	13.8 ± 1.21 a
Malla negra	78.9 ± 3.00 a	1.44 ± 0.11 a	80.5 ± 3.58 d	11.9 ± 0.69 a
Sin malla	63.6 ± 2.66 b	1.65 ± 0.07 a	66.9 ± 3.81 d	14.0 ± 0.92 a
DMSH	14.04	0.49	22.59	6.17

<sup>(1)</sup>Promedio de hoja madura más reciente. <sup>(2)</sup>Medias ± error estándar con la misma letra en una columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

Estos resultados son congruentes con los de Shahak *et al.* (2008), quienes utilizaron mallas “raschel” de colores rojo, amarillo y perla con 30 a 40% de sombra, y obtuvieron rendimientos de pimiento morrón de 115 a 135% más altos que los obtenidos con la malla negra del mismo nivel de sombra. Igualmente coinciden con los de Fallik *et al.* (2009), quienes encontraron que el pimiento morrón cultivado en una región árida con mallas sombra de color rojo y amarillo, tuvo rendimientos de fruta con calidad de exportación significativamente mayores en comparación con la malla negra del mismo nivel de sombreado.

Los efectos ocasionados por las mallas sombra de colores sobre la RFA transmitida y el rendimiento de frutos concuerda con los resultados de Retamales *et al.* (2008), quienes al comparar el rendimiento de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) obtenido bajo mallas de colores con respecto a un testigo sin malla encontraron que con la malla blanca de 35% de sombra, durante dos años los rendimientos se incrementaron en 90.5 y 44.6%, con la malla gris 35% de sombra los incrementos fueron de 59.6 y 24.9%, y con la malla roja 50% los rendimientos se incrementaron 31.9 y 84.2%.

Los rendimientos de pimiento morrón sin calidad comercial (rezaga), obtenidos con las mallas verde, roja, beige, azul y negra, fueron significativamente menores comparados con el que se obtuvo de las plantas cultivadas sin malla (Cuadro 3.3). Igualmente, las rezagas obtenidas con las mallas, comparadas con los respectivos rendimientos totales de frutos comerciales, constituyeron del 0.04 al 6.5%, mientras que en el testigo sin malla la rezaga representó 46 %. Estos resultados comprobaron uno de los beneficios reconocidos al uso de las mallas sombra en el cultivo de pimiento morrón, que es el de reducir el daño por sol en los frutos, ya que en la producción de frutos de rezaga que se obtuvo con el tratamiento testigo predominó el fruto con golpe de sol (> 90%). También Rylski y Spigelman (1986) indicaron que las mallas sombra redujeron la quemadura por sol en los frutos de pimiento morrón, desde 36% a cielo abierto hasta 3 y 4% con mallas de 26 y 47% de sombra, respectivamente.

Cuadro 3.3. Rendimiento de pimiento morrón cultivado con y sin mallas sombra.

Tratamientos	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )			
	Total comercial	Exportación	Nacional	Rezaga
Malla verde	48.1 ± 2.54 a <sup>(1)</sup>	46.2 ± 1.85 a	1.87 ± 0.69 a	0.02 ± 0.002 b
Malla roja	48.5 ± 2.54 a	46.6 ± 1.56 a	1.90 ± 0.98 a	1.68 ± 0.40 b
Malla beige	50.4 ± 2.19 a	47.5 ± 1.67 a	2.88 ± 0.52 a	2.95 ± 0.52 b
Malla azul	47.3 ± 2.42 a	44.5 ± 1.79 a	2.84 ± 0.64 a	0.41 ± 0.06 b
Malla negra	33.6 ± 0.92 b	31.1 ± 0.81 b	2.49 ± 0.12 a	2.20 ± 0.12 b
Sin malla	22.8 ± 1.44 c	20.4 ± 1.10 c	2.38 ± 0.35 a	10.50 ± 1.50 a
DMSH	8.05	10.14	3.17	3.22

<sup>(1)</sup>Medias ± error estándar con la misma letra en una columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

## **CAPÍTULO 4. PRODUCCIÓN DE PEPINO EN AMBIENTES DIFERENCIADOS POR MALLAS DE SOMBREO FOTOSELECTIVO<sup>3</sup>**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una cucurbitácea que se cultiva mundialmente con varios propósitos: para consumo en fresco, industria del encurtido e industria cosmética, principalmente. En 2012 se cosecharon 2.1 millones de hectáreas, en las que se obtuvo una producción de 65.1 millones de toneladas de frutos (FAO, 2014). En ese mismo año, en México se cosecharon 15,307 ha y se produjeron 640,508 t, correspondiendo al Estado de Sinaloa una participación mayoritaria, con 25.1% de la superficie cosechada y 44.2% de la producción obtenida (SIAP, 2014).

El uso de invernaderos representa una opción para incrementar la producción de pepino, al propiciar un ambiente poco restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas que el que ocurre a cielo abierto (Ortiz *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2012). Sin embargo, la construcción de un invernadero significa una inversión importante que debe analizarse cuidadosamente. Para éste propósito, se debe considerar que existen nuevos materiales de cubierta que permiten diseños estructurales más económicos que se adaptan a las diferentes necesidades de cada cultivo y recursos disponibles. Una alternativa económica es la malla sombra, que protege la planta (hoja y fruto) de una fuerte radiación solar directa, obteniéndose plantas más vigorosas, con mayores rendimientos y frutos de mejor calidad que en campo abierto (Gruda, 2005; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

Las mallas de sombreo, además de fabricarse de diferentes materiales, como el polietileno, el polipropileno y el poliéster o derivados acrílicos, presentan distintos porcentajes de transmisión, absorción y reflexión de la luz, así como porosidad al aire; sin embargo, la mayoría de las mallas utilizadas con ese fin son negras y poco fotoselectivas, es decir, reducen tanto la transmisión de radiación fotosintéticamente

---

<sup>3</sup>Artículo científico publicado en: Revista ITEA (ISSN 1699-6887). 111(1):1-15. 2015. Disponible en: [http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2015/111-1/\(03-17\)%20ITEA%20111-1.pdf](http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2015/111-1/(03-17)%20ITEA%20111-1.pdf)

activa como la del infrarrojo cercano (Hemming *et al.*, 2006; Bastida y Ramírez, 2008). Dichas mallas son utilizadas ordinariamente por los horticultores para reducir la radiación solar y la temperatura, pero no se logra optimizar la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, trascendentales en el crecimiento y desarrollo vegetal (Cummings *et al.*, 2008; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

Por ello, recientemente se desarrollaron mallas plásticas con propiedades ópticas especiales, las cuales representan un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008). Son mallas sombra coloreadas, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de luz transmitida en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano, intensifica su contenido relativo de dispersión de luz difusa y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos de sus elementos constituyentes y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004).

El paso de la luz a través de estos materiales de cubierta fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la misma, tales como: la fotosíntesis, en función del flujo de luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, denominada radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es absorbida por las clorofilas *a* y *b*, principalmente; y la fotomorfogénesis que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros metabolitos secundarios, en respuesta a la incidencia de luz azul (LA: 400 a 500 nm), roja (LR: 600 a 700 nm) y roja lejana (LRL: 700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fitocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Devlin *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2012).

La presente investigación se realizó con el propósito de evaluar agrónomicamente la fotoselectividad de seis mallas sombra, conocer la influencia que cada malla tiene sobre la cantidad y calidad de la radiación solar que transmite, el efecto en la temperatura y humedad atmosférica, la temperatura foliar, capacidad fotosintética, crecimiento de plantas y el rendimiento de frutos en el cultivo de pepino.

## 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante los ciclos agrícolas otoño/invierno de 2011/2012 y 2012/2013, en una casa sombra del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México; ubicada en las coordenadas 24° 48' 30" N y 107° 24' 30" O, a una altitud de 38.5 m. Las características estructurales de la instalación son las siguientes: "casa sombra" con estructura metálica de 4.0 m de altura, techumbre plana, orientada norte-sur, con una superficie total de 3200 m<sup>2</sup>. La cubierta techumbre es una malla antiáfidos de 16 x 10 hilos cristalinos por cm<sup>2</sup> (25% de sombra) y en las bandas malla anti-trip con 20 hilos cristalinos x 10 hilos negros por cm<sup>2</sup>.

En ambos ciclos agrícolas el terreno se preparó mediante un barbecho y dos pasos de rastra, luego se formaron camas de cultivo distanciadas a 1.8 m; las cuales se acolcharon con plástico blanco/negro, con la finalidad de mejorar el ambiente luminoso y evitar el desarrollo de malezas que compitieran con las plantas. Entretanto, se sembraron semillas de pepino 'Modan F1' (Rijk Zwaan), tipo slicer partenocárpico, en bandejas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con una mezcla de turba y perlita en proporción 75:25 (v/v).

Las plántulas se cultivaron en invernadero y fueron trasplantadas a la casa sombra cuando tuvieron dos hojas verdaderas, 22 días después de la siembra (dds), con una densidad de 2.2 plantas por m<sup>2</sup>. Durante ambos ciclos de cultivo, los cuales terminaron 125 dds, en promedio se aportaron 225, 75, 296, 178 y 22 kg de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio por hectárea, respectivamente, vía fertirriego. Los ciclos de cultivo se dieron por concluidos, al alcanzar las plantas la altura de los alambres del tutoreo horizontal de la casa sombra (3.0 m). Se procedió eliminando el brote apical de las plantas.

Los tratamientos evaluados en esta investigación fueron: una malla negra (testigo: malla convencionalmente utilizada por los agricultores) y cinco mallas coloreadas: gris, perla, azul, roja (ChromatiNet®) y aluminada (Aluminet 'O'), todas del tipo

raschel con 30% de sombra (Polysack Ltd, Israel). Se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, utilizando cuatro camas de 10 m de largo como parcela experimental (72 m<sup>2</sup>). Como parcela útil se usaron las dos camas centrales, dejando una cama de cultivo (1.8 m) a cada lado y una banda de igual longitud en cada extremo, con siete a ocho plantas, para evitar el efecto borde. Las mallas sombra se colocaron a 0.5 m por encima de los alambres de tutoreo, a 3.5 m sobre el nivel del suelo, antes del trasplante.

Se realizaron mediciones del espectro de flujo de radiación solar ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en una banda total de 350 a 1050 nm de longitud de onda (radiación solar total: RT), a intervalos de 1 nm, por medio de un espectrorradiómetro portátil (FieldSpec Pro@VNIR, ASD Inc., EE. UU.) equipado con un receptor coseno, el cual fue colocado a 1.0 m sobre la superficie del suelo. Las mediciones fueron realizadas alternadamente durante condiciones de cielo despejado, entre 12:00 y 13:30 h (hora local) a intervalos de tres minutos, en el centro de cada malla sombra. A partir de los datos obtenidos en dichas mediciones, se integraron y analizaron también las bandas de longitud de onda de 400 a 700 nm (radiación fotosintéticamente activa: RFA), 350 a 400 nm (luz ultravioleta-A: UV-A), 400 a 500 nm (luz azul: LA), 600 a 700 nm (luz roja: LR), 700 a 800 nm (luz roja lejana: LRL) y 800 a 1050 nm (radiación infrarroja cercana: IRC).

En el centro del área de influencia de cada una de las mallas se instaló un termohigrómetro USB/almacenador de datos (DT171, CEM, Colombia) programado para registrar temperatura y humedad relativa del aire cada 30 minutos. Además, se obtuvo la temperatura de las hojas en los tercios inferior, intermedio y superior de 16 plantas de pepino por tratamiento, medidas en condiciones de cielo despejado entre las 12:00 y 13:00 h, mediante un termómetro con infrarrojos (HI 99550, HANNA Instruments Inc., EE. UU.).

También se midieron las propiedades fotosintéticas: tasa de transpiración ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y tasa de asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub> ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de 16 hojas por tratamiento, mediante un sistema portátil de

fotosíntesis (LCpro+, ADC BioScientific Ltd., GB). Las mediciones fueron realizadas bajo condiciones ambientales de CO<sub>2</sub>, HR y RFA, a los 29, 60 y 85 días después del trasplante (ddt), de manera alternada en condiciones de cielo despejado, entre 9:00 y 12:00 h (hora local), en plantas ubicadas en el área central de cada malla sombra. Se seleccionaron hojas jóvenes completamente desarrolladas, cuidando que el área de 6.25 cm<sup>2</sup> de la ventana de la cámara de medición estuviera completamente expuesta a la luz filtrada por las mallas.

Para evaluar el crecimiento de las plantas se midieron la longitud y diámetro de tallo (CALDI-6MP, Truper S.A. de C.V., México), número de hojas, área foliar de hoja joven completamente desarrollada (LI-3000A, LI-COR Inc., EE. UU.), verdor de la hoja (SPAD-502, Konica Minolta Inc., Japón) y peso seco de hojas y tallo después de secado en estufa (FE-292, Felisa S.A. de C.V., México) hasta peso seco constante, de 16 plantas por tratamiento. La evaluación del crecimiento de los frutos se hizo midiendo el largo y diámetro de 16 frutos, cada tres días, hasta que fueron cosechados. La cosecha se realizó tres veces por semana, registrando el número, tamaño y peso de los frutos, los cuales debían tener no menos de 3.2 cm de diámetro y 12.7 cm de longitud.

Los resultados obtenidos en cada una de las variables se sometieron al análisis de varianza y prueba de rangos múltiples de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) para la comparación de las medias.

### **4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las mallas propiciaron distintos ambientes luminosos en el cultivo de pepino; aunque las coloreadas: azul, roja y perla, fueron las que más alteraron el espectro o calidad de la luz. La malla azul transmitió más luz en la región azul-verde (400 a 570 nm) e incrementó el flujo de radiación infrarroja de 730 nm en adelante, la malla roja transmitió el mayor flujo de fotones de 590 nm en adelante; mientras que la malla perla se diferenció de las mallas aluminada y gris aumentando su transmisión desde los 700 nm (Figura 4.1).

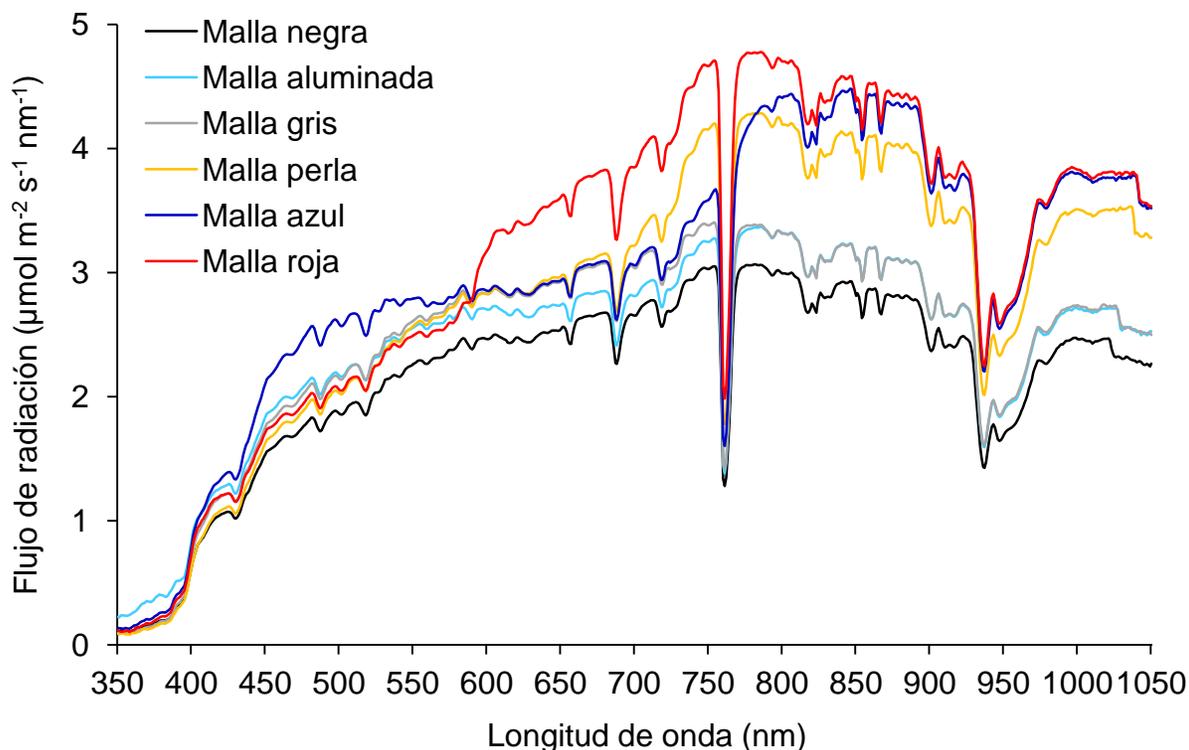


Figura 4.1. Distribución espectral de la radiación solar transmitida por las mallas sombra (20/02/2012).

En el Cuadro 4.1 se observa que los mayores flujos de RT, RFA, LR, LRL e IRC ocurrieron bajo la malla roja, los cuales superaron en 42.6, 23.7, 40.3, 52.9 y 57.3% a los respectivos flujos transmitidos por la malla negra. En tanto la mayor transmisión de LA se obtuvo con la malla azul, 36% mayor a la registrada con la malla negra. Mientras que la transmisión de UV-A se registró en la malla aluminada. Estos resultados muestran la capacidad de la malla negra para bloquear la radiación incidente y explica su amplio uso como malla de sombreo, a la vez que revelan la transmisión o sombreo fotoselectivo de las mallas coloreadas. En este sentido, Oren-Shamir *et al.* (2001), Shahak *et al.* (2004) y Ayala-Tafoya *et al.* (2011), quienes evaluaron el efecto de mallas de diferentes colores sobre la luz en el cultivo de plantas ornamentales (*Pittosporum variegatum*), diversos frutales (*Vitis vinifera*, *Malus domestica*, *Pyrus communis*, *Prunus persica*, *Diospyros kaki* y *Fragaria ananassa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), respectivamente, indicaron también cambios similares en la cantidad y calidad de la luz, a causa del color y diseño de las mallas.

Cuadro 4.1. Cantidad y calidad de la radiación solar ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) transmitida por las mallas sombra (20/02/2012).

Malla	RT	RFA	UV-A	LA	LR	LRL	IRC
	350-1050 nm	400-700 nm	350-400 nm	400-500 nm	600-700 nm	700-800 nm	800-1050 nm
Negra	1519.2±10.0 e <sup>(1)</sup>	615.2±4.6 d	10.9±0.6 d	141.8±1.7 f	255.4±2.0 e	282.5±1.8 f	616.8±3.6 e
Aluminada	1690.5±2.2 d	690.0±1.8 c	20.0±0.4 a	169.2±1.3 b	274.9±2.3 d	304.6±2.2 e	682.8±4.2 d
Gris	1711.7±12.4 d	707.5±5.5 b	10.9±0.2 d	162.3±1.6 c	293.7±2.1 c	315.9±3.1 d	684.4±4.5 d
Perla	1956.8±5.2 c	695.4±3.6 c	9.8±0.1 e	150.4±1.4 e	298.8±2.7 b	379.9±3.4 b	879.8±4.6 c
Azul	2070.0±11.9 b	759.7±4.2 a	14.2±0.2 b	192.9±1.4 a	295.2±2.0 bc	353.8±3.1 c	950.6±5.7 b
Roja	2166.9±12.4 a	761.2±5.9 a	12.5±0.4 c	158.8±1.6 d	358.4±2.6 a	431.9±3.1 a	970.5±4.2 a

RT = radiación solar total; RFA = radiación fotosintéticamente activa; UV-A = luz ultravioleta-A; LA = luz azul; LR = luz roja; LRL = luz roja lejana; IRC = radiación infrarroja cercana. <sup>(1)</sup>Medias de cuatro repeticiones ± error estándar con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

No obstante, la radiación solar transmitida por las mallas no influyó sobre las temperaturas cardinales. Las temperaturas mínimas registradas durante el periodo evaluado promediaron 11.2 °C y las temperaturas máximas promediaron 30.4 °C; mientras que el promedio de todas las lecturas de temperatura obtenidas fue de 19.4 °C. En este sentido, Oren-Shamir *et al.* (2001) tampoco observaron diferencias entre las temperaturas del aire que ocurrieron en un cultivo de *Pittosporum variegatum*, en el cual utilizaron mallas negra, aluminada, gris, verde, azul y roja, probablemente debido a la buena ventilación existente en la casa sombra. Según Vasco (2003), el umbral óptimo de temperatura diurna para el cultivo de pepino es de 21 a 24 °C; dentro del cual se ubicaron las temperaturas diurnas registradas en este experimento, de 23.5 °C en la malla negra a 24 °C en la malla perla. Con respecto a la HR, la máxima fue significativamente mayor en las mallas coloreadas ( $\geq 87\%$ ) comparada con la que ocurrió con la malla negra (83.6%) (Cuadro 4.2). Vasco (2003) señala que la HR nocturna óptima para el cultivo de pepino está entre 70 y 90%; cuyo límite inferior coincidió con la HR nocturna alcanzada con las mallas coloreadas (70.7%), mientras que con la malla negra se tuvo un valor menor (66.6%). También indica que la HR diurna óptima se encuentra entre 60 y 70%, por lo que también se logró estar dentro de ese rango, ya que la HR promedio fluctuó de 61.9% en la malla negra hasta 65.9% en la aluminada. Sin embargo, las HR mínimas registradas en todas las mallas fueron inferiores al nivel crítico para este cultivo (40%), lo cual es común en invernaderos de tecnología baja (Ramírez *et al.*, 2012), que no cuentan con sistemas de control del clima, así como en casas sombra.

Lo anterior es trascendente porque en los cultivos protegidos el contenido de humedad de la atmósfera incide sobre: el turgor celular, la expansión foliar, el crecimiento y desarrollo aéreo y radicular de la planta, el amortiguamiento de los cambios de temperatura, aumento o disminución de la transpiración, la absorción de nutrientes, la producción de materia seca, viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores y en el desarrollo de enfermedades (Bastida y Ramírez, 2008; Lorenzo, 2012).

Adicionalmente, la temperatura de las hojas ubicadas en los tercios inferior y superior, de las plantas de pepino cultivadas bajo las mallas negra y aluminada, fue significativamente menor a la observada bajo las mallas de color rojo, perla, azul o gris, lo cual tiene estrecha relación con la disminución en la transmisión de radiación solar ejercida por dichos plásticos (Cuadro 4.1). A este respecto, Oren-Shamir *et al.* (2001) no encontraron diferencias significativas entre la temperatura de hojas de plantas de *Pittosporum variegatum* cultivadas con mallas negra, aluminada, gris, verde, azul y roja; aunque ellos midieron hojas completamente expandidas, cuya condición de plantas de menor altura, podría asemejarse más a las hojas de pepino del estrato intermedio, entre las cuales tampoco se observaron diferencias en este trabajo (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Influencia de las mallas sombra en la humedad relativa del aire y la temperatura foliar de las plantas de pepino.

Malla	Humedad relativa (%)			Temperatura de hojas (°C)		
	Mínima	Máxima	Promedio	Inferiores	Intermedias	Superiores
Negra	35.2±1.5 a <sup>(1)</sup>	83.6±1.1 b	61.9±1.4 a	25.8±0.1 c	27.5±0.3 a	27.9±0.1 b
Aluminada	37.6±1.9 a	87.7±1.1 a	65.9±1.5 a	25.9±0.1 c	27.6±0.2 a	28.1±0.1 b
Gris	33.5±1.9 a	87.8±1.0 a	64.7±1.4 a	26.2±0.2 bc	27.4±0.2 a	28.5±0.1 a
Perla	33.2±1.9 a	87.0±1.1 a	63.8±1.5 a	27.3±0.1 a	26.9±0.2 a	28.5±0.1 a
Azul	32.6±2.0 a	87.8±1.0 a	64.2±1.5 a	26.6±0.3 b	27.3±0.3 a	28.8±0.1 a
Roja	36.9±1.9 a	87.3±1.1 a	65.6±1.5 a	26.4±0.2 b	27.5±0.2 a	28.6±0.3 a

<sup>(1)</sup>Medias ± error estándar con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

En términos generales, las mallas roja, perla, azul y aluminada ocasionaron los principales cambios en las variables de intercambio de gases en las plantas de pepino (Cuadro 4.3). Bajo esas mallas las hojas de pepino presentaron tasas de transpiración (*E*) que superaron, aunque de manera más consistente las tres primeras, a la registrada bajo la malla negra, de 15.4 a 69.2% a los 29 ddt, de 6.9 a 44.8% a los 60 ddt y de 8 a 40% a los 85 ddt. Además del incremento de *E* conforme al nivel de radiación solar que transmitieron las mallas, también se observó que *E*

decreció durante la ontogenia de las plantas de pepino bajo todas las mallas, lo cual concuerda con Medrano *et al.* (2005).

Asimismo, con las mallas: roja, perla, azul y aluminada, la conductancia estomática ( $g_s$ ) incrementó de 70.8 a 125% a los 29 ddt, de 3.7 a 22.2% a los 60 ddt y de 13 a 52.2% a los 85 ddt; e igualmente las tasas de asimilación de  $CO_2$  ( $A$ ), que también excedieron de 27.5 a 38.5% a los 29 ddt, 13 a 38.5% a los 60 ddt y de 18.4 a 37.9% a los 85 ddt, en comparación con los valores obtenidos en las mismas fechas con la malla negra. Resultados obtenidos por Janoudi *et al.* (1993) en hojas de pepino que mostraron tasas máximas de  $A$  a  $g_s > 256 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , mientras  $E$  seguía aumentando hasta llegar a  $g_s$  de  $380 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , coinciden con los resultados obtenidos con las mallas roja, perla, azul y aluminada, promovidos por mayores transmisiones de luz, no sólo en cuanto a intensidad, sino también en calidad, referida principalmente a su componente de LA, con gran influencia en la apertura estomática (Hogewoning *et al.*, 2010; Lawson *et al.*, 2011), y de LR, cuya energía es más eficientemente absorbida por las clorofilas y transferida a los centros de reacción, extendiendo de ese modo, la captura de energía que actúa eficazmente en las reacciones fotoquímicas (Huot y Babin, 2011; Lawson *et al.*, 2011); así como, por la participación de los fotorreceptores de LR (fitocromos A y B) y LA (criptocromo) en el desarrollo de los estomas (densidad adaxial y abaxial, diámetro polar y ecuatorial, etc.), en respuesta a la calidad de la luz (Martins *et al.*, 2009; Kang *et al.*, 2009; Silva Júnior *et al.*, 2012). Mientras que las variables fotosintéticas exhibidas por las plantas bajo la malla gris, en las tres fechas, fueron estadísticamente iguales a las observadas en la malla negra (Cuadro 4.3). Además, en estas dos mallas se presentaron  $g_s < 256 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  que aparentemente limitaron la disponibilidad de  $CO_2$  y repercutieron en tasas fotosintéticas más bajas (Janoudi *et al.*, 1993; Savvides *et al.*, 2012).

Cuadro 4.3. Influencia de las mallas sombra en la transpiración ( $E$ ), conductancia estomática ( $gs$ ) y asimilación de  $CO_2$  ( $A$ ) de hojas de pepino a los 29, 60 y 85 días después del trasplante.

Mallas	$E$ ( $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ )			$gs$ ( $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ )			$A$ ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ )		
	29 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(1)</sup>	85 <sup>(1)</sup>	29 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(1)</sup>	85 <sup>(1)</sup>	29 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(1)</sup>	85 <sup>(1)</sup>
Negra	2.6±0.5 b <sup>(2)</sup>	2.9±0.1 b	2.5±0.2 c	0.24±0.1 b	0.27±0.0 a	0.23±0.0 b	10.9±0.7 b	10.8±0.6 b	10.3±0.5 d
Aluminada	4.4±0.4 a	3.1±0.2 b	2.7±0.1 bc	0.53±0.1 ab	0.26±0.0 a	0.26±0.0 b	13.9±0.4 a	12.2±0.4 ab	12.2±0.3 bc
Gris	3.6±0.6 ab	3.0±0.1 b	2.6±0.1 c	0.34±0.1 ab	0.25±0.0 a	0.22±0.0 b	11.6±0.5 b	11.9±0.5 ab	11.3±0.4 cd
Perla	3.7±0.2 ab	3.5±0.3 ab	3.5±0.3 a	0.41±0.0 ab	0.33±0.0 a	0.29±0.0 ab	14.0±0.8 a	13.4±1.0 a	13.8±0.4 ab
Azul	4.2±0.6 ab	4.2±0.5 a	3.4±0.4 ab	0.54±0.1 a	0.31±0.0 a	0.35±0.0 a	15.1±1.2 a	13.0±1.2 ab	14.2±1.1 a
Roja	3.0±0.6 ab	3.7±0.2 a	3.1±0.1 abc	0.42±0.1 ab	0.28±0.0 a	0.29±0.0 ab	14.5±0.8 a	13.3±0.6 a	14.2±0.3 a
Promedio	3.58	3.40	2.97	0.41	0.28	0.27	13.33	12.43	12.67

<sup>(1)</sup>Días después del trasplante. <sup>(2)</sup>Medias de 16 hojas ± error estándar con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Shahak *et al.* (2004) observaron respuestas semejantes en árboles de manzano ‘Golden Delicious’ cultivados con mallas negra, gris, perla, azul y roja. Ellos expusieron que a pesar de que las mallas redujeron la intensidad de RFA en aproximadamente 30%, la tasa de fotosíntesis y la conductancia estomática de hojas expuestas fueron mayores durante la mayor parte del día, comparadas con las mediciones obtenidas en las plantas testigo sin malla y, que la tasa de fotosíntesis más alta se obtuvo con la malla roja.

El crecimiento de las plantas de pepino fue significativamente influido por el ambiente creado por las mallas, tal como se puede notar en la Figura 4.2 y el Cuadro 4.4. Las mallas roja y perla ocasionaron mayor alargamiento de los tallos, debido a que disminuyeron las proporciones de LR: LRL (0.83 y 0.79) y LA: LRL (0.37 y 0.35), es decir, transmitieron más luz roja lejana que roja o azul, condiciones que promueven dicho efecto fotomorfogénico (Kahlen y Stützel, 2011b). Mientras que los tallos menos largos se encontraron bajo la malla azul, aunque sólo al final del ciclo, ya que durante los primeros 50 ddt la altura de las plantas en esta malla sólo era menor a la registrada bajo las mallas roja y perla. Sin embargo, durante la segunda mitad del ciclo, la elongación del tallo fue significativamente menor (Figura 4.2A), lo que concuerda con el efecto que ha mostrado la luz azul en diversas especies de plantas (Shahak *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2008). Lo anterior implica la participación de fitocromos y criptocromos, respectivamente. Los fitocromos median las respuestas vegetales a LR y LRL, y algunas respuestas a LA; mientras que los criptocromos están exclusivamente involucrados en respuestas a LA y UV-A. Dentro de ambos tipos de fotorreceptores, los fitocromos PhyA y PhyB (Kamiya y García-Martínez, 1999; García-Martínez y Gil, 2002) y el criptocromo Cry1 (Cummings *et al.*, 2008) han demostrado tener una participación importante en la regulación de los niveles de giberelinas biológicamente activas y por lo tanto en la elongación de los tallos de las plantas.

Aunque también la cantidad de RFA, por su importancia en el proceso fotosintético y la producción de biomasa, pudieron influir en la elongación del tallo de las plantas de pepino, ya que Kahlen y Stützel (2011a) generaron resultados que ponen de relieve

la importancia de la señal RFA en la predicción de la longitud final del tallo, al aumentar los efectos de vecindad, lo que indica un posible rol de señalización de los fotosintatos para la elongación de los entrenudos.

Las variables diámetro de tallo (Figura 4.2B), número de hojas (Figura 4.2C), área foliar de hojas individuales (Figura 4.2D), verdor, peso seco de hojas y tallo (Cuadro 4.4), se incrementaron debido a la interacción de mayores flujos de RT, RFA y LR transmitidos preponderantemente por la malla roja. En segundo término se ubicaron, por los efectos ocasionados en dichas variables, la mallas perla y aluminada, las cuales transmitieron los segundos mayores flujos de LR y LA, respectivamente. Dichos niveles de luz favorecieron la fotosíntesis que condujo a incrementar la producción de biomasa, reflejada, por ejemplo, en un tallo más grueso, que generalmente implica mayor área de floema y en consecuencia un transporte más eficiente, y mayor capacidad de reserva de asimilados para su uso posterior en el llenado de fruto (Ortiz *et al.*, 2009). Aspectos que fueron potenciados por el enriquecimiento del ambiente con luz difusa, espectralmente modificada por parte de las mallas perla, aluminada, roja y azul, fotosintéticamente más eficiente que la luz directa por su mayor capacidad para penetrar el dosel vegetal (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2008). Por su parte, la malla azul promovió altos valores de verdor foliar, los cuales suelen asociarse con incrementos en la transmisión de RFA y LA (Costa *et al.*, 2010; Hogewoning *et al.*, 2010; Souza *et al.*, 2011), aspectos en los cuales destacó. Mientras que las plantas con menor crecimiento, en cada una de las variables estudiadas, fueron aquellas cultivadas con las mallas negra y gris (Figura 4.2 y Cuadro 4.4).

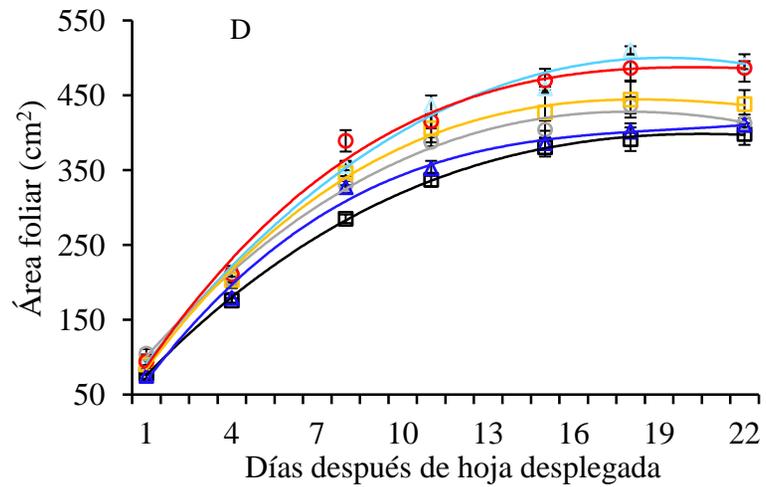
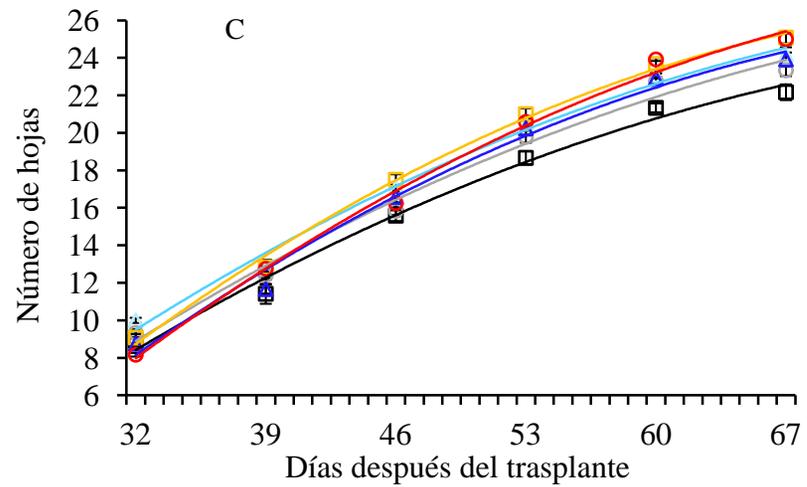
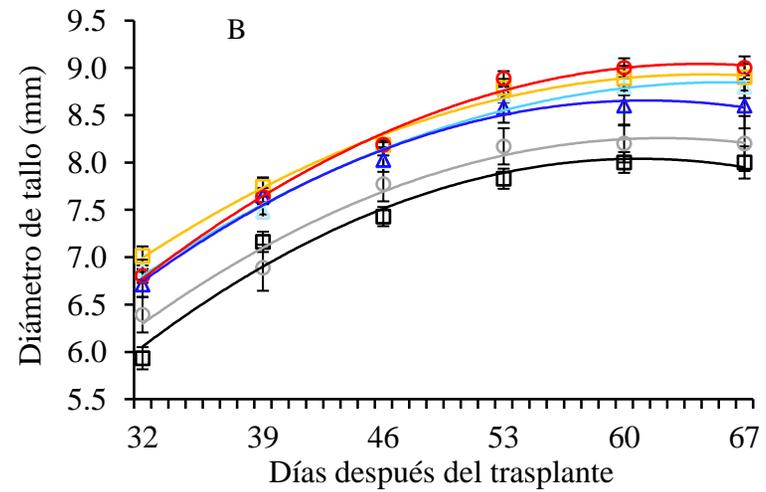
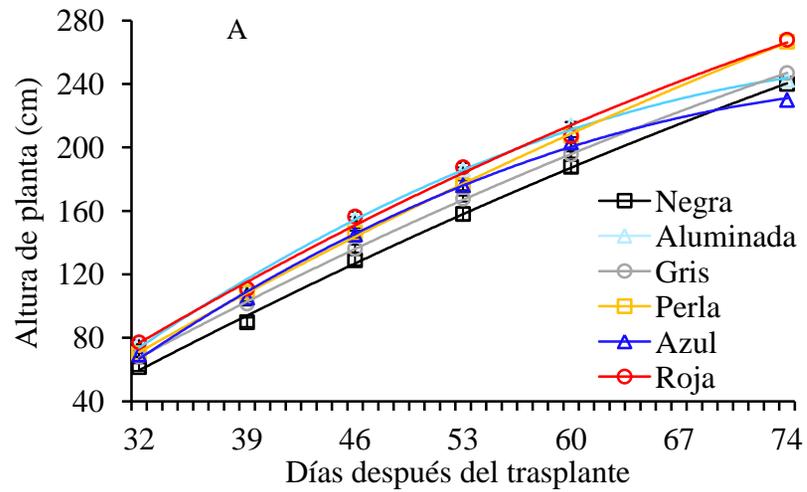


Figura 4.2. Influencia de mallas sombra: negra, aluminada, gris, perla, azul y roja, sobre la longitud (A) y diámetro (B) de tallo, el número (C) y área foliar de hojas individuales (D) de plantas de pepino.

Cuadro 4.4. Efecto de las mallas sombra sobre características del crecimiento de las plantas de pepino.

Mallas	Verdor foliar (unidades spad)	Peso seco de hojas (g por planta)	Peso seco de tallo (g por planta)
Negra	41.6±1.1 c <sup>(1)</sup>	52.5±2.2 b	14.7±0.9 c
Aluminada	47.6±2.5 ab	59.3±3.0 ab	17.6±0.7 b
Gris	44.2±1.7 bc	54.8±2.7 b	16.7±0.3 bc
Perla	49.1±0.9 ab	64.0±3.4 a	18.2±0.8 ab
Azul	49.7±2.0 ab	53.3±2.5 b	17.4±0.6 b
Roja	51.1±1.6 a	57.5±4.0 ab	20.1±1.1 a

<sup>(1)</sup>Medias de 16 plantas ± error estándar con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Los ambientes creados por las mallas y la influencia de éstos en la fisiología de las plantas, afectaron también el crecimiento (Figura 4.3) y peso promedio de los frutos (Cuadro 4.5). Con las mallas sombra aluminada, perla, azul y roja se aumentó entre 6.9 y 8.7% el peso promedio de los frutos de pepino, debido al efecto positivo en el aumento de biomasa (frutos y partes vegetativas) de la planta al incrementar la radiación solar disponible y la eficiencia fotosintética, promoviendo el aumento en la tasa de crecimiento de los frutos individuales y un período de crecimiento más corto desde la antesis hasta la cosecha. Lo cual, junto con un aumento en el número de frutos por planta, generalmente tiene como resultado una mayor producción (Milenkovic´ *et al.*, 2012). Marcelis *et al.* (2004) encontraron que al tener las plantas una mayor área foliar, se cuenta con una mayor fuente de fotoasimilados responsables del crecimiento de los frutos y/o de abastecer un mayor número de frutos, al disminuir el porcentaje de abortos de manera significativa en plantas de pimiento.

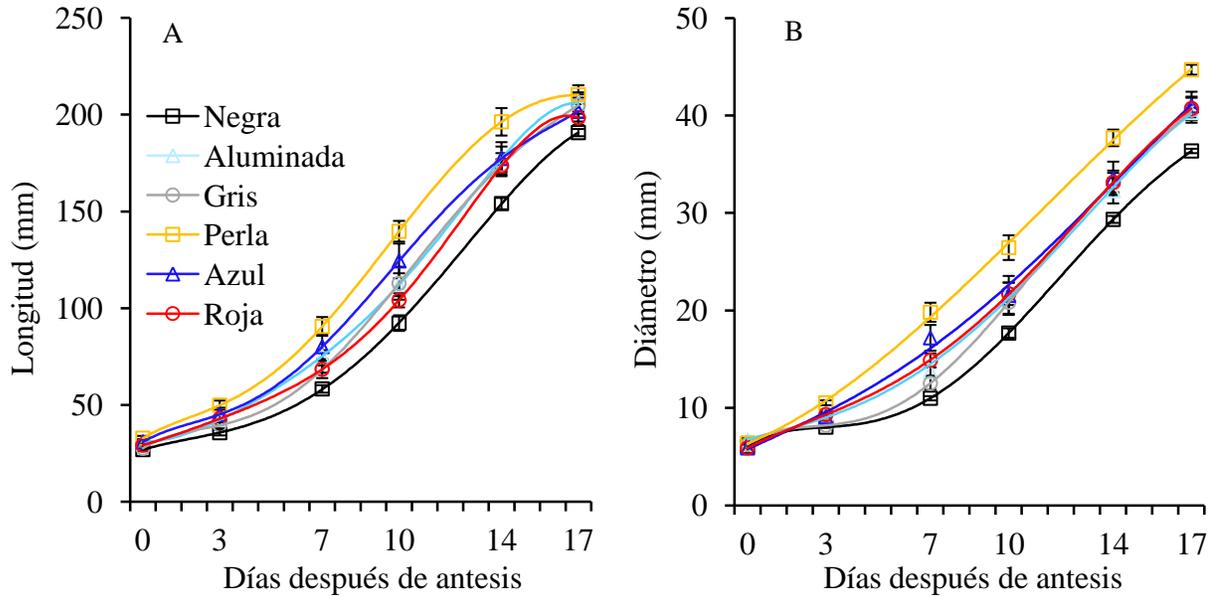


Figura 4.3. Influencia de mallas sombra: negra, aluminada, gris, perla, azul y roja, sobre el crecimiento en longitud (A) y diámetro (B) de frutos de pepino.

En resumen, las mallas de color incrementaron el rendimiento de pepino, el cual fue significativamente mayor con las mallas perla (71.1%), roja (48.1%), aluminada (46.1%) y azul (46.1%), comparados con el rendimiento obtenido con la malla negra (5.2 kg m<sup>-2</sup>), el cual fue menor en 17.3% con respecto al conseguido con la malla gris (Cuadro 4.5), aunque entre ellos no hubo diferencias estadísticas.

Cuadro 4.5. Efecto de las mallas sombra en el rendimiento de pepino.

Mallas	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Peso de fruto (g)
Negra	5.2±0.5 b <sup>(1)</sup>	279.0±5.7 b
Aluminada	7.6±0.2 a	303.2±5.5 a
Gris	6.1±0.5 b	291.8±2.6 ab
Perla	8.9±0.8 a	300.9±4.1 a
Azul	7.6±0.4 a	298.9±7.2 a
Roja	7.7±0.4 a	298.3±2.8 a

<sup>(1)</sup>Medias de cuatro repeticiones ± error estándar con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05).

Estos resultados concuerdan con los observados por Shahak *et al.* (2008), quienes utilizaron mallas raschel roja, amarilla y perla con 30 a 40% de sombra y obtuvieron rendimientos de pimiento morrón de 115 a 135% más altos que los obtenidos con la malla negra del mismo nivel de sombra. Igualmente coinciden con los de Fallik *et al.* (2009), quienes encontraron que el pimiento morrón cultivado en una región árida con mallas sombra de color rojo y amarillo, tuvo rendimientos de fruta con calidad de exportación significativamente mayores en comparación con el obtenido con malla negra del mismo nivel de sombreado.

De la misma manera concuerdan con los resultados logrados por Ayala-Tafuya *et al.* (2011) en tomate cultivado con mallas negras, grises, aluminadas, azules, rojas y perladas, cada una con 50 y 30% de sombra, en invernadero. Ellos informaron que con la malla perla de 30% de sombra se cosecharon los mayores rendimientos, total y con calidad para exportación. Mientras que los menores rendimientos se presentaron con las mallas negra y aluminada con 50% sombra.

Las mallas sombra coloreadas pueden utilizarse para cambiar las proporciones de LR: LRL que son detectadas por los fitocromos, las cantidades de radiación disponibles para activar los fotorreceptores de LA y UV-A (criptocromos), o LA implicada en las respuestas fototrópicas mediadas por fototropinas y, radiación de otras longitudes de onda que puede influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Stamps, 2009; Bastías y Corelli-Grappadelli, 2012). Pero también porque la luz difusa ha demostrado que aumenta la eficiencia en el uso de la radiación, mejora el rendimiento, e incluso puede ser un factor que afecta a la floración (sincronización y cantidades) de la planta (Gu *et al.*, 2002; Hemming *et al.*, 2008). Con las mallas sombra que aumentan la dispersión de luz, pero no afectan el espectro de luz, se ha demostrado que aumenta la ramificación, la compacidad de la planta, y el número de flores por planta (Nissim-Levi *et al.*, 2008). Las mallas de sombreo coloreadas pueden aumentar la dispersión de luz en un 50% o más (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004, 2008) y sólo esto puede influir en el desarrollo y el crecimiento vegetal.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

#### **5.1.1. Tomate**

El color del plástico y el porcentaje de sombra de las mallas influyeron su capacidad de transmisión de radiación total y fotosintética. Las mallas negras y aluminadas transmitieron las menores cantidades de radiación total y fotosintética; es decir, fueron las mallas más eficaces para sombrear.

Tales propiedades fotométricas de las mallas influyeron en el crecimiento de las plantas de tomate. El diámetro de los tallos se incrementó a causa de una mayor cantidad de radiación total, fotosintética y de luz azul o roja transmitidas por las mallas roja, azul y perla con 30% de sombra; mientras que las mallas gris y aluminada con 50% de sombra, con las menores transmisiones de radiación total y fotosintética, promovieron alargamiento de plantas. El área foliar específica fue mayor bajo la influencia de la radiación solar transmitida por las mallas azul y aluminada con 50% de sombra; mientras que la radiación filtrada por las mallas perla y roja con 30% de sombra promovió los valores más bajos. Un mayor verdor en hojas se correspondió con más radiación total y fotosintética encontrada en cada una de las mallas azul, roja, aluminada, perla y gris con 30% de sombra.

Consecuentemente, también se obtuvieron diferentes respuestas de rendimiento y calidad de tomate. Con la radiación solar transmitida por la malla perla con 30% de sombra se cosecharon los mayores rendimientos, total y con calidad para exportación, incluyendo cuatro de cinco calibres comerciales (22, 28, 32, 35 y 39) clasificados también como frutos extragrandes, grandes y medianos. Los menores niveles de radiación solar transmitidos por las mallas negra y aluminada con 50% sombra causaron los rendimientos totales y exportables más bajos. Con la radiación solar transmitida por la malla azul con 50% de sombra se consiguió el mayor rendimiento para mercado nacional, mientras que la radiación encontrada en las mallas rojas y perladas ocasionó los menores rendimientos de esta calidad de

tomate. La radiación solar filtrada por las mallas perladas, con 30 y 50% de sombreo, originó también las mayores cantidades de tomate no comercial o de rezaga.

Las mallas perladas con 50 a 30% de sombra representan una opción para mejorar el rendimiento de tomate cultivado en invernadero, ya que incrementaron significativamente el rendimiento total y con calidad para exportación, en comparación con los obtenidos con las mallas negra y aluminada con 50% de sombra, utilizadas por los agricultores.

### **5.1.2. Pimiento morrón**

Las mallas sombra incrementaron significativamente la humedad relativa del aire, la altura y el área foliar de las plantas, sobre todo las cromáticas, comparadas con las respuestas medidas en el cultivo sin malla.

Los rendimientos de pimiento morrón, total comercial y con calidad de exportación, obtenidos con las mallas beige, roja, verde y azul fueron mayores a los conseguidos en el testigo sin malla y en el testigo comercial con malla negra. Mientras que el cultivo sin malla propició la mayor producción de frutos sin calidad comercial (rezaga).

### **5.1.3. Pepino**

Las mallas de color rojo, azul y perla transmitieron los mayores flujos de radiación total, fotosintética y morfogenéticamente activas, así como de la banda infrarroja. Mientras que las mallas aluminada, gris y negra no afectaron espectralmente la radiación solar, sino solamente la cantidad, siendo la malla negra la que transmitió los menores flujos en cada una de las bandas de longitud de onda estudiadas.

Lo anterior, junto con los incrementos observados en la humedad relativa máxima y la temperatura de las hojas superiores, promovidas por las mallas coloreadas, mejoró las propiedades fotosintéticas y el crecimiento de las plantas de pepino. Por lo que, de acuerdo con los resultados de este trabajo, las mallas perla, roja, azul y aluminada, representan una opción para incrementar el rendimiento de pepino en

condiciones de casa sombra.

## 5.2. CONSIDERACIONES FINALES

Aunque con la malla perla de 30% de sombra se consiguieron los rendimientos más altos de tomate en invernadero, con la malla del mismo color y 50% de sombra se promovió un rendimiento total estadísticamente igual y el segundo más importante en calidad para exportación, los cuales también superaron significativamente, en 26.4 y 44%, a los respectivos rendimientos obtenidos con la malla negra de 50% de sombra. De lo anterior se deduce que también a la malla perla de 50% de sombra se le puede considerar como una opción viable para reemplazar a la malla negra utilizada por los agricultores, especialmente en lugares donde o cuando las condiciones de radiación solar demanden mayor sombreo.

Hay algunos otros factores a considerar con relación al uso de mallas sombras de colores, además de los efectos directos sobre el microclima y las plantas. La calidad de la radiación puede tener efectos sobre los microorganismos asociados con éstas. Por ejemplo, aunque los rendimientos de pimiento morrón se incrementaron bajo las mallas de sombreo coloreadas, la severidad de la cenicilla (*Leveillula taurica*) y el desprendimiento de hojas a causa de la enfermedad fueron más graves en la sombra y tuvo que ser controlada mediante aspersion de fungicidas, coincidiendo en lo anterior con Elad *et al.* (2007). Lo mismo ocurrió en pepino, en el cual la severidad del mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) fue mayor bajo la malla roja, en comparación con lo observado bajo las otras mallas de color y la malla negra; mientras que pudo notarse una menor severidad de la enfermedad bajo la malla azul.

Las mallas de colores también pueden afectar a insectos y ácaros plaga. Se sabe que moscas blancas y pulgones prefieren posarse en materiales de color amarillo en comparación con superficies oscuras o negras; aún así, algunos resultados de investigación indican que un menor número de moscas blancas adultas fueron capturadas en trampas amarillas pegajosas dentro de cámaras cerradas con mallas de color amarillo que bajo las negras. Sin embargo, las cantidades de inmaduros de

moscas blancas contados en plantas dentro de las cámaras no fueron estadísticamente diferentes (Ben-Yakir *et al.*, 2008).

Con respecto a efectos sobre los seres humanos, Crane *et al.* (2008), Elliot y Niesta (2008) y Lin *et al.* (2008) refieren que las mallas de colores pueden afectar directamente a los trabajadores que cultivan las plantas, así como su capacidad de juzgar la "madurez" de los frutos durante la cosecha de algunos cultivos.

También deben considerarse factores como los costos relativos, la persistencia del color y durabilidad de las mallas. Con relación a las mallas tipo raschel utilizadas en los trabajos de investigación con tomate y pepino, la malla de menor costo fue la malla negra o testigo comercial, 0.897 dólares m<sup>-2</sup>. En ese sentido, con las mallas: gris, azul, perla, roja y aluminada, los costos de producción se elevaron en 0.069, 0.104, 0.104, 0.173 y 1.438 dólares m<sup>-2</sup>, respectivamente. Si sólo consideramos que con esas mallas los rendimientos de pepino aumentaron en 0.9, 2.4, 3.7, 2.5 y 2.4 kg m<sup>-2</sup> y el precio promedio del pepino en el mercado estadounidense durante el periodo 2012-2013 fue de 7.23 dólares por cada caja de 25 kg (1  $\frac{1}{9}$  bushel = 55 libras), entonces también se lograron incrementos económicos de 0.260, 0.694, 1.070, 0.723 y 0.694 dólares m<sup>-2</sup>, con respecto al rendimiento obtenido con la malla negra. Lo cual confirma a la malla perla como la mejor opción para reemplazar a la malla negra, convencionalmente utilizada por los horticultores.

## CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA

- Alpi, A. y F. Tognoni. 1999. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 347 p.
- Anglés, M. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura* 19(3):28-34.
- Ashkenazi, Y. 1996. Nuevos desarrollos tecnológicos en plasticultura. En: *Memorias del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos*. Veracruz, Ver., México. pp.27-44.
- Ayala-Tafoya, F. 1997. Cubiertas plásticas de colores en el desarrollo y sanidad del melón (*Cucumis melo* L.) en Culiacán, Sinaloa. Tesis Maestría en Ciencias de la Producción Agrícola. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 139 p.
- Ayala-Tafoya, F., D. M. Zatarain-López, M. Valenzuela-López, L. Partida-Ruvalcaba, T. de J. Velázquez-Alcaraz, T. Díaz-Valdés y J. A. Osuna-Sánchez. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana* 29:403-410.
- Basile, B., R. Romano, M. Giaccone, E. Barlotti, V. Colonna, C. Cirillo, Y. Shahak, and M. Forlani. 2008. Use of photo-selective nets for hail protection of kiwifruit vines in southern Italy. *Acta Horticulturae* 770:185-192.
- Bastías, R. M., and L. Corelli-Grappadelli. 2012. Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72:574-581.
- Bastida, T. A. y A. J. A. Ramírez. 2008. *Los Invernaderos en México*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 233 p.
- Benson, J. L. 1992. Effects of spectral filters on bedding plant growth. MSc Thesis, Clemson University. South Carolina, USA.

- Ben-Yakir, D., M. D. Hadar, Y. Offir, M. Chen, and M. Tregerman. 2008. Protecting crops from pests using OptiNet® screens and Chromati-Net® shading nets. *Acta Horticulturae* 770:205-212.
- Carter, G. A., and B. A. Spiering. 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality* 31:1424-1432.
- Castellanos, J. Z. y C. M. Borbón. 2009. Panorama de la Horticultura protegida en México. En: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Castellanos, J. Z. (Ed.). INTAGRI. México. pp.1-18.
- Chun, L., A. Kawakami, and D. A. Christopher. 2001. Phytochrome A mediates blue light and UV-A-dependent chloroplast gene transcription in green leaves. *Plant Physiology* 125:1957-1966.
- Clarck, D. G., J. W. Kelly, and D. R. Decoteau. 1991. The influence of end-of-day red and far-red light on potted roses. *Journal of Environmental Horticulture* 9:123-127.
- Costa, L. C. B., J. E. B. P. Pinto, E. M. Castro, E. Alves, S. K. V. Bertolucci, and L. F. Rosal. 2010. Effects of coloured shade netting on the vegetative development and leaf structure of *Ocimum selloi*. *Bragantia Campinas* 69:349-359.
- Crane, D. K., R. W. Hensarling, A. P. Jung, C. D. Sands, and J. K. Petrella. 2008. The effect of light color on muscular strength and power. *Perceptual and Motor Skills* 106:958-962.
- Cruz, H. N., F. Sánchez del C., J. Ortiz C. y M. del C. Mendoza C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México* 35(1):70-77.

- Cummings, I.G., E. Foo, J. L. Weller, J. B. Reid, and A. Koutoulis. 2008. Blue and red photosensitive shade cloths modify pea height through altered blue irradiance perceived by cry1 photoreceptor. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83:663-667.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 114(2):216-219.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1990. Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* 25(4):460-462.
- Decoteau, D. R., and H. H. Friend. 1991a. Plant responses to wavelength selective mulches and row covers: A discussion of light quality effects on plants. *Proceedings of the National Agricultural Plastics Congress* 23:46-51.
- Decoteau, D. R., and H. H. Friend. 1991b. Phytochrome-regulated growth of young watermelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:512-515.
- Decoteau, D. R., and H. H. Friend. 1991c. Growth and subsequent yield of tomatoes following end-of-day light treatment of transplants. *HortScience* 26(12):1528-1530.
- Decoteau, D. R., H. A. Hatt, J. W. Kelly, M. J. McMahon, N. Rajapakse, R. E. Joung, and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. *HortScience* 28(10):974-1063.
- Decoteau, D. R. 1997. Percepción de luz y color por las plantas desde el punto de vista fisiológico. Percepción de luz y color por las plantas: lo que implica para los plásticos agrícolas. En: *Memorias del V Congreso de Nuevas Tecnologías Agrícolas*. Puerto Vallarta, Jalisco, México. pp.43-53.

- Degli, E. M. D., S. D. Lopes, P. P. R. Gomes, V. V. H. Alvarez, S. L. C. Chamhum, and F. J. A. Machado. 2003. Assessment of nitrogenized nutrition of citrus rootstocks using chlorophyll concentrations in the leaf. *Journal of Plant Nutrition* 26(6):1287-1299.
- Devlin, P. F., J. M. Christie, and M. J. Terry. 2007. Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany* 58:3071-3077.
- Elad, Y., Y. Messika, M. Brand, D. R. David, and A. Sztejnberg. 2007. Effect of colored shade nets on pepper powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Phytoparasitica* 35:285-299.
- El-Aidy, F. 1991. The effect of planting date, density, variety and shade on production of cucumber under tunnels. *Acta Horticulturae* 287:281-288.
- Elliot, A. J., and D. Niesta. 2008. Romantic red: Red enhances men's attraction to women. *Journal of Personality and Social Psychology* 95:1150–1164.
- Fallik, E., S. Alkalai-Tuvia, Y. Parselan, Z. Aharon, A. Elmann, Y. Offir, E. Matan, H. Yehezekel, K. Ratner, N. Zur, and Y. Shahak. 2009. Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing? *Acta Horticulturae* 830:37-44.
- FAO. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de Suelos No. 103. Roma. Italia. 117 p.
- FAO. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S> (Consultada 24/02/2014).
- FAOSTAT. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://faostat.fao.org> (Consultada 05/03/2013).

- Friend, H. H., and D. R. Decoteau. 1990. Transmission properties of selected row covers materials and implications in early plant development. *Proceedings of the National Agricultural Plastics Congress* 22:1-6.
- Friend, H. H., and D. R. Decoteau. 1991. Photomodulation of watermelon plant growth as effected by light quality. *HortScience* 26:745.
- Ganelevin, R. 2008. World-wide commercial applications of colored shade nets technology (Chromatinet®). *Acta Horticulturae* 770:199-203.
- García, A. 1996. Las casas de sombra y otros complementos del invernadero. *Productores de hortalizas* 5(8):24-26.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM-Instituto de Geografía. 5 Ed. México. 90 p.
- García-Martínez, J. L. y J. Gil. 2002. Light regulation of gibberellin biosynthesis and mode of action. *Journal of Plant Growth Regulation* 20:354-368.
- Gruda, N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:227-247.
- Gu, L. H., D. Baldocchi, S. B. Verma, T. A. Black, T. Vesala, E. M. Falge, and P. R. Dwyer. 2002. Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity. *Journal of Geophysical Research* 107:ACL 2,1-23.
- Guenter, S., B. Stimm, M. Cabrera, L. Diaz M., M. Lojan, E. Ordonez, M. Richter, and M. Weber. 2008. Tree phenology in montane forests of southern Ecuador can be explained by precipitation, radiation and photoperiodic control. *Journal of Tropical Ecology* 24:247-258.

- Healey, K. D., K. G. Rickert, G. L. Hammer, and M. P. Bange. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research* 49:665-672.
- Hedden, P., and Y. Kamiya. 1997. Gibberellin biosynthesis: enzymes, genes and their regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48:431-460.
- Hemming, S., T. Dueck, J. Janse, and F. van Noort. 2008. The effect of diffuse light on crops. *Acta Horticulturae* 801:1293-1300.
- Hemming, S., N. Van der braak, T. Dueck, A. Elings, and N. Marissen. 2006. Filtering natural light at the greenhouse covering - Better greenhouse climate and higher production by filtering out NIR? *Acta Horticulturae* 711:411-416.
- Hogewoning, S. W., G. Trouwborst, H. Maljaars, H. Poorter, W. Ieperen, and J. Harbinson. 2010. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany* 61:3107-3117.
- Huot, Y., and M. Babin. 2011. Overview of fluorescence protocols: theory, basic concepts, and practice. En: *Chlorophyll a fluorescence in aquatic sciences. Methods and applications.* (Eds. Suggett D. J., O. Prášil, and M. A. Borowitzka). Springer Science Business Media B.V. pp.31-74.
- Jaimez, R., R. Da Silva, A. D'Aubeterre, J. Allende, F. Rada y R. Figueiral. 2005. Variaciones microclimáticas en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annum*). *Agrociencia* 39:41-50.

- Janoudi, A. K., I. E. Widders, and J. A. Flore. 1993. Water deficits and environmental factors affect photosynthesis in leaves of cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:366-370.
- Jones, H. G. 2013. *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. 3 Ed. Cambridge University Press. Australia. 428 p.
- Jurado, R. A. y M. N. Nieto Q. 2003. El cultivo de pimiento bajo invernadero: En: *Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos*. Camacho F. F. (ed.). Almería, España. pp:541-568.
- Kahlen, K., and H. Stützel. 2011a. Modelling photomodulated internode elongation in growing glasshouse cucumber canopies. *New Phytologist* 190:697-708.
- Kahlen, K., and H. Stützel. 2011b. Simplification of a light-based model for estimating final internode length in greenhouse cucumber canopies. *Annals of Botany* 108:1055-1063.
- Kamiya, Y., and J. L. García-Martínez. 1999. Regulation of gibberellin biosynthesis by light. *Current Opinion in Plant Biology* 2:398-403.
- Kang, Y., H. L. Lian, F. F. Wang, J. R. Huang, and H. Q. Yang. 2009. Cryptochromes, phytochromes, and COP1 regulate light-controlled stomatal development in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 21:2624-2641.
- Kasperbauer, M. J., and P. G. Hunt. 1987. Soil color and surface residue effects on seedling light environment. *Plant & Soil* 97:295-298.
- Kelly, J. W., P. H. Adler, D. R. Decoteau, and S. Lawrence. 1989. Colored reflective surfaces to control whitefly on Poinsettia. *HortScience* 24(6):1045.
- Kittas, C., and A. Baille. 1998. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials. Evaluation of specific parameters related to plant response. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71:193-202.

- Lawson, T., S. Caemmerer, and I. Baroli. 2011. Photosynthesis and stomatal behaviour. En: Progress in Botany 72. (Eds. Lüttge U. E., W. Beyschlag, B. Büdel, and D. Francis). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp.265-304.
- Leite, C. A., R. M. Ito, G. T. S. Lee, R. Ganelevin, and M. A. Fagnani. 2008. Light spectrum management using colored nets to control the growth and blooming of *Phalaenopsis*. Acta Horticulturae 770:177-184.
- Lin, C. J., W. Y. Feng, C. J. Chao, and F. Y. Tseng. 2008. Effects of VDT workstation lighting conditions on operator visual workload. Industrial Health 46:105-111.
- Lorenzo, P. 2012. El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA) 3:23-44.
- Marcelis, L. F. M., E. Heuvelink, L. R. Baan Hofman-Eijer, J. Den Bakker, and L. B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. Journal of Experimental Botany 55:2261-2268.
- Martínez, H. A., G. Acevedo H. y L. Herrera E. 1998. La luz en la vida de las plantas. Avance y Perspectiva 17:285-292.
- Martins, J. R., A. A. Alvarenga, E. M. Castro, A. P. O. Silva, C. Oliveira, E. Alves. 2009. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. Ciência Rural 39:82-87.
- Matallana, G. A. y J. I. Montero C. 2001. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 209 p.
- McMahon, M. J., J. W. Kelly, and D. R. Decoteau. 1990. Spectral transmittance of selected greenhouse construction and nursery shading material. Journal of Environmental Horticulture 8(3):118-121.

- McMahon, M. J., J. W. Kelly, D. R. Decoteau, R. E. Young, and R. K. Pollock. 1991. Growth of *Dendranthema xgrandiflorum* (Ramat.) Kitamura under various spectral filters. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:950-954.
- Medrano, E., P. Lorenzo, M. C. Sánchez-Guerrero, and J. I. Montero. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae* 105:163-175.
- Milenković L., Z. S. Ilić, M. Đurovka, N. Kapoulas, N. Mirecki, and E. Fallik. 2012. Yield and pepper quality as affected by light intensity using colour shade nets. *Agriculture & Forestry* 58:19-33.
- Mortensen, L. M., and E. Stromme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33(1/2):27-36.
- Murchie, E. H., and P. Horton. 1998. Contrasting patterns of photosynthetic acclimation to the light environment are dependent on the differential expression of the responses to altered irradiance and spectral quality. *Plant, Cell and Environment* 21:139-148.
- Nissim-Levi, A., L. Farkash, D. Hamburger, R. Ovadia, I. Forrer, S. Kagan, and M. Oren-Shamir. 2008. Light-scattering shade net increases branching and flowering in ornamental pot plants. *Journal of Horticultural Science Biotechnology* 83:9-14.
- Oguchi, R., K. Hikosaka, and T. Hirose. 2003. Does the change in light acclimation need leaf anatomy? *Plant, Cell and Environment* 26:505-512.
- Oren-Shamir, M., E. E. Gussakovsky, E. Spiegel, A. Nissim-Levi, K. Ratner, R. Ovadia, Y. E. Giller, and Y. Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76:353-361.

- Ortiz, C. J., F. Sánchez del C., M. C. Mendoza C. y A. Torres G. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:289-294.
- Ortiz, E. C., J. Homeier, S. W. Breckle, J. Bendix, P. Emck, M. Richter, and E. Beck. 2006. Seasonality in an evergreen tropical mountain rainforest in southern Ecuador. *Ecotropica (Bonn)* 12:69-85.
- Páez, A., V. Paz y J. C. López. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-junio. Efecto del sombreado. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 17:173-184.
- Parks, B. M. 2003. The red side of photomorphogenesis. *Plant Physiology* 133:1437-1444.
- Pearson, S., A. E. Wheldon, and P. Hadley. 1995. Radiation transmission and fluorescence of nine greenhouse cladding materials. *Journal of Agricultural and Engineering Research* 62:61-70.
- Pérez, M., B. M. Plaza, S. Jiménez, M. T. Lao, J. Barbero, and J. L. Bosch. 2006. The radiation spectrum through ornamental net houses and its impact on the climate generated. *Acta Horticulturae* 719:631-636.
- Pollock, R. K., M. J. McMahon, R. E. Young, and J. W. Kelly. 1990. Liquid spectral filtering for greenhouses: regulation of photomorphogenesis in plants. *Paper-American Society of Agricultural Engineers* 90-4036. 13 p.
- Pollock, R. K., R. E. Young, J. M. Bunn, and W. H. Allen. 1992. Cooling characteristics of a fluid roof panel. *Paper-American Society of Agricultural Engineers* 92-4074. 13 p.

- Rajapakse, N. C., and J. W. Kelly. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(3):481-485.
- Rajapakse, N. C., R. E. Young, M. J. McMahon, and R. Oi. 1999. Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects. *HorTechnology* 9: 618-624.
- Ramírez, M. G., E. Rico G., A. Mercado L., R. Ocampo V., R. G. Guevara G., G. M. Soto Z. y H. Godoy H. 2012. Efecto del manejo cultural y sombreo sobre la productividad del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Ciencia@UAQ* 5:1-9.
- Randolph, A. 2000. El potencial de las nuevas tecnologías. Análisis integral de los nuevos sistemas de producción que se obtienen en campo abierto, malla sombra e invernaderos. *Productores de Hortalizas* 9(1):42-48.
- Retamales, J. B., J. M. Montecino, G. A. Lobos, and L. A. Rojas. 2008. Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticulturae* 770:193-197.
- Rodríguez, M. M., G. Alcántar G., A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. A. Santizó R. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16(2):135-141.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma. 1983. *Microclimate: The biological environment*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Rylski, I., and M. Spigelman. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae* 29(1-2):31-35.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 2000. *Fisiología de las plantas 3: desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. E. Paraninfo. México. 460 p.

- Savvides, A., D. Fanourakis, and W. Ieperen. 2012. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany* 63:1135-1143.
- Serrano, C. Z. 2005. *Construcción de Invernaderos*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 504 p.
- Shahak, Y. 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae* 770:161-168.
- Shahak, Y., E. Gal, Y. Offir, and D. Ben-Yakir. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae* 797:75-80.
- Shahak, Y., E. E. Gussakovsky, Y. Cohen, S. Lurie, R. Stern, S. Kfir, A. Naor, I. Atzmon, I. Doron, and Y. Greenblat-Avron. 2004a. ColorNets: A new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Horticulturae* 636:609-616.
- Shahak, Y., E. E. Gussakovsky, E. Gal, and R. Ganelevin. 2004b. ColorNets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae* 659:143-151.
- Shahak, Y., K. Ratner, Y. E. Giller, N. Zur, E. Or, E. E. Gussakovsky, R. Stern, P. Sarig, E. Raban, E. Harcavi, I. Doron, and Y. Greenblat-Avron. 2008. Improving solar energy utilization, productivity and fruit quality in orchards and vineyards by photosensitive netting. *Acta Horticulturae* 772:65-72.
- SIAP. 2013. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx> (Consultada 05/03/2013).
- SIAP. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/> (Consultada 24/02/2014).

- Silva Júnior, J. M., E. M. Castro, M. Rodrigues, M. Pasqual, S. K. V. Bertolucci. 2012. Variações anatômicas de *Laelia purpurata* var. *carnea* cultivada in vitro sob diferentes intensidades e qualidade spectral de luz. *Ciência Rural*, Santa Maria 42:480-486.
- Sinclair, T. R., T. Shiraiwa, and G. L. Hammer. 1992. Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. *Crop Science* 32:1281-1284.
- Souza, G. S., E. M. Castro, Â. M. Soares, A. R. Santos, E. Alves. 2011. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malhas coloridas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina 32:1843-1854.
- Stamps, R. H. 1994. Evapotranspiration and nitrogen leaching during leatherleaf fern production in shadehouses. *SJRWMD Spec. Publ. SJ94-SP10*. St. Johns River Water Management District, Palatka, FL.
- Stamps, R. H. 2008. Differential effects of colored shade nets on three cut foliage crops. *Acta Horticulturae* 770:169-176.
- Stamps, R. H. 2009. Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience* 44:239-241.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Tanny, J. 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering* 114(1):26-43.
- USDA. 2005. United States standards for grades of sweet peppers. <http://www.ams.usda.gov> (Cons. 15/11/2012).
- Valera, D., F. Molina y J. Gil. 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural* 8:50-52.

- Vasco, M. R. 2003. El cultivo de pepino bajo invernadero. En: Técnicas de producción en cultivos protegidos (Tomo 2). (Coord. Camacho FA). Cajamar. España. pp.691-722.
- Wener, H. 1999. Tomate de invernadero y producción de pimiento en malla sombra en Israel. Memorias del Congreso de Nuevas Tecnologías agrícolas (Puerto Vallarta, Jalisco México) 5:163-171.
- Yang, X., X. Wang, L. Wang, and M. Wei. 2012. Control of light environment: A key technique for high-yield and high-quality vegetable production in protected farmland. *Agricultural Sciences* 3:923-928.
- Zeinalov, Y., and L. Maslenkova. 2000. On the action spectra of photosynthesis and spectral dependence of the quantum efficiency. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 26(1-2):58-69.