

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



COLOR Y CARACTERÍSTICAS DE LA CUBIERTA DE INVERNADEROS EN LA
RADIACIÓN TRANSMITIDA, RELACIÓN CON CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).

TESIS

Que presenta PEDRO OCTAVIO KAU PÉREZ

Como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

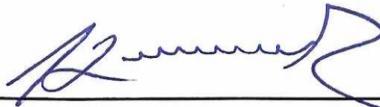
SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE 2020

COLOR Y CARACTERÍSTICAS DE LA CUBIERTA DE INVERNADEROS EN LA
RADIACIÓN TRANSMITIDA, RELACIÓN CON CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO
DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).

TESIS

Elaborada por PEDRO OCTAVIO KAU PÉREZ como requisito parcial para obtener
el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del comité de asesoría



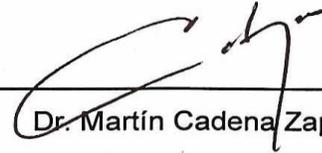
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor Principal



Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Asesor



Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor



M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez

Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Subdirector de Postgrado

U.A.A.A.N

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme vida, sabiduría, perseverancia y salud para lograr este sueño, por estar conmigo en cada momento de mi vida. Gracias a Dios, que nos da la victoria por medio de nuestro señor Jesucristo 1 Corintios 15:57.

A mi **alma mater** la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrir sus puertas y darme la oportunidad de tener un título a nivel licenciatura y de estudiar un postgrado.

A mis **padres** Octavio Kau Chimal, Florinda Pérez Roblero y hermano Jorge Antonio Kau Pérez por darme todo su apoyo a lo largo de mis estudios y por desearme lo mejor.

A mis **familiares** Tenfora Pérez Roblero, Marbey Cifuentes Pérez, Leyber Cifuentes Pérez, Alexander Cifuentes Pérez, Abelardo Cifuentes Pérez y Brenda Pérez Roblero por sus buenos deseos.

Al **Dr. Alejandro Zermeño González** por brindarme de su tiempo, conocimiento y apoyo infinito para llevar a cabo esta investigación.

A mi **comité** de asesorías los doctores Homero Ramírez Rodríguez, Martín Cadena Zapata y el M.C Aaron Isain Melendres Alvarez, por su colaboración brindada en este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (**CONACYT**) por el apoyo económico brindado para desarrollar este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de una manera muy especial a mi padre porque todos mis logros se lo debo a él. Me acompañó durante 26 años en mi educación, formación profesional y en la vida diaria, Apoyándome incondicionalmente en todo.

Octavio Kau Chimal 1964-2020, D.E.P.A.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTOS _____	iii
DEDICATORIA _____	iv
ÍNDICE DE CUADROS _____	vi
ÍNDICE DE FIGURAS _____	vii
RESUMEN _____	viii
ABSTRACT _____	x
INTRODUCCIÓN _____	1
OBJETIVO _____	3
HIPÓTESIS _____	3
REVISIÓN DE LITERATURA _____	4
Importancia del uso de cubiertas plásticas en la agricultura.....	4
Tipos de cubiertas plásticas para invernaderos.	4
Efecto del color y propiedades de las cubiertas plásticas.	5
El cultivo de Tomate.	6
Importancia económica y social del cultivo de tomate.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS _____	7
Descripción del área de estudio.....	7
Características de las cubiertas e invernaderos.....	7
Establecimiento del cultivo.....	8
Instrumentación y mediciones.....	8
Crecimiento de las plantas.....	9
Evaluación estadística.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	10
Características espectrales de la radiación transmitida en las cubiertas.	10
Radiación solar transmitida en las cubiertas.	12
Temperatura foliar y del aire dentro de los invernaderos.	13
Tasa de fotosíntesis, transpiración y contenido de clorofila.	16
Crecimiento y rendimiento de las plantas.....	19
CONCLUSIONES _____	22
REFERENCIAS _____	23

ÍNDICE DE CUADROS

<u>Cuadro 1. Relación porcentual de la radiación solar que se transmite en las diferentes cubiertas de los invernaderos, en diferentes rangos de la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (400 a 700 nm).</u>	12
<u>Cuadro 2. Temperatura promedio diaria del aire a campo abierto y dentro de cada invernadero de diferente cubierta, a través del ciclo de crecimiento del cultivo de tomate.</u>	14
<u>Cuadro 3. Parámetros del rendimiento de frutos del total de los cinco cortes realizado en el cultivo de tomate (hibrido Cedral) en invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferentes colores y propiedades, Cedral, San Luis, Potosí, México.</u>	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características de los materiales para invernadero más usados en la en la agricultura (Sistemas Hortícolas, 2019).....	5
Figura 2. Invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de colores rojo, azul, blanco lechoso y blanco comercial, instalados en la propiedad denominada rancho Nueva Rosita, Cedral, San Luis Potosí, México.....	7
Figura 3. Medidor de radiación PAR Quantum sensor (SQ-512, Apogge, Instruments, Logan, Utah, USA).....	9
Figura 4. Características espectrales de la radiación solar incidente en la banda de 400 a 700 nm (PAR), y la que se transmite en las cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de tipo comercial (comer), de propiedades de termorregulación de patente ciga, de pigmentación azul y de pigmentación roja.	11
Figura 5. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) que incide (PAR out) y la que se transmite en los invernaderos con cubierta de polietileno difuso de patente ciga (PAR ciga), polietileno difuso de tipo comercial (PAR comer), polietileno difuso de color azul (PAR blue) y de color rojo (PAR red), durante el ciclo de crecimiento de las plantas de tomate.	13
Figura 6. Temperatura foliar de las hojas de las plantas de tomate (hibrido Cedral) en invernaderos con polietileno difuso de diferente color y propiedad.	16
Figura 7. Contenido relativo de clorofila en las hojas de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo macro túneles con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.	17
Figura 8. Tasa de fotosíntesis foliar de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo invernaderos con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.....	18
Figura 9. Tasa de transpiración foliar de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo invernaderos con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.....	18
Figura 10. Altura de plantas de tomate (hibrido Cedral) en los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferente color y propiedades.	19
11 Figura. Diámetro del tallo de las plantas de tomate (hibrido Cedral) en los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferente color y propiedades.	20

RESUMEN

COLOR Y CARACTERISTICAS DE LA CUBIERTA DE INVERNADEROS EN LA
RADIACIÓN TRANSMITIDA, RELACIÓN CON CRECIMIENTO Y
RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).

POR

PEDRO OCTAVIO KAU PÉREZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ-ASESOR-

SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE 2020

Las cubiertas de invernadero de diferente color y características modifican la magnitud y características de la radiación solar transmitida que incide en las plantas y afecta su crecimiento y rendimiento, por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro películas de polietileno de alta densidad: de color lechoso, blanco lechoso brillante, con pigmentación de color rojo y azul, en la intensidad y propiedades espectrales de la radiación solar que se transmite; y su efecto en el contenido relativo de clorofila, tasa de fotosíntesis, crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). La intensidad de la radiación solar en la banda de 400 a 700 nm que se transmitió en cada cubierta se midió con sensores quantum colocado en el interior de cada invernadero, mientras que las características espectrales de la radiación solar (en la misma banda) se determinaron con un espectro radiómetro. Las plantas en los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de pigmentación azul y rojo recibieron menos radiación solar en la banda de 400 a 700 nm de longitud de onda. Además, la radiación en el rango de 400 a 550 nm que recibieron las plantas en el invernadero con cubierta de pigmentación roja fue mucho menor que la recibida por las plantas en las otras cubiertas. Mientras que, las plantas en el invernadero con cubierta de polietileno azul, recibieron menos radiación solar en el rango de 600 a 700 nm. Esto no afectó el contenido de clorofila ni la tasa de asimilación de bióxido de carbono, sin embargo, tuvo efecto significativo en mayor altura de plantas, con menor diámetro de tallo, mayor rendimiento de frutos por planta, con frutos de mayor peso y tamaño, de las plantas en los invernaderos con polietileno con pigmentación rojo y azul.

Palabras clave: Invernadero, polietileno, radiación solar, pigmentación, *Solanum lycopersicum*

ABSTRACT

COLOR AND CHARACTERISTICS OF THE GREENHOUSE COVER IN THE
TRANSMITTED RADIATION, RELATION TO GROWTH AND YIELD OF A
TOMATO CROP (*Solanum lycopersicum* L.)

BY

PEDRO OCTAVIO KAU PÉREZ
MASTER OF SCIENCE PRODUCTION SYSTEM ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ –ADVISOR–

-

SALTILLO, COAHUILA

DECEMBER 2020

The greenhouse covers of different color and characteristics modify the magnitude and characteristics of the transmitted solar radiation that impacts in the plants, affecting the growth of growth and yield, so that, the objective of this study was to evaluate the effect of four films of high density polyethylene: milky color, brilliant milky white, with red and blue pigmentation, in the intensity and spectral properties of the solar radiation that is transmitted; and its effect on the chlorophyll relative content, photosynthesis rate, growth and yield of a tomato crop (*Solanum lycopersicum*). The intensity of solar radiation in the 400 to 700 nm band that was transmitted in each greenhouse was measured with quantum sensors placed inside each greenhouse, while the spectral characteristics of solar radiation (in the same band) were determined with a Spectroradiometer. The plants in the greenhouses with high-density polyethylene covers with blue and red pigmentation received less solar radiation in the 400 to 700 nm wavelength band. In addition, the radiation in the 400 to 550 nm range received by the plants in the greenhouse with red pigmentation cover was much lower than the received by the plants in the other covers. While the plants in the blue polyethylene greenhouse received less solar radiation in the range of 600 to 700 nm. This did not affect the chlorophyll content neither the carbon dioxide assimilation rate, however, it had a significant effect on plant of higher height, with smaller stem diameter, higher fruit yield per plant, with heavier and bigger fruits, of the plants in the greenhouses with red and blue pigmented polyethylene.

Key words: Greenhouse, polyethylene, solar radiation, pigmentation, *Solanum lycopersicum*

INTRODUCCIÓN

El uso de cubiertas flexibles en invernadero, con diferentes materiales y características reduce las limitaciones que el medio ambiente impone al establecimiento y desarrollo de cultivos. La agricultura protegida ha tenido un gran desarrollo en México y el mundo, gracias a las ventajas que proporciona en comparación con la agricultura a cielo abierto, ya que se tiene mejor control ambiental, mayor eficiencia del agua y rendimientos más altos por unidad de superficie (González *et al.*, 2017).

Las películas de polietileno son las cubiertas más comúnmente utilizado, esto debido a su flexibilidad y propiedades absorbentes de la radiación infrarroja, que la dan un mejor funcionamiento para diferentes condiciones ambientales (Rizo, 2015).

Debido a que la radiación que incide sobre el dosel de las plantas es el factor más importante que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, los materiales de cobertura deben tener alta transmitancia en el espectro de la radiación fotosintéticamente activa (400 a 700 nm) (Emeklia *et al.*, 2016). En términos generales los materiales que proporcionan mayor difusividad de la radiación solar que se transmite dentro del invernadero, son los que tienen un aspecto blanco lechoso, como las películas de polietileno, la fibra de vidrio y las cubiertas de revestimiento de invernadero de doble pared (The Greenhouse Catalog, 2020).

El uso de cubiertas de invernadero de diferente color y características modifica la intensidad y calidad de la radiación que reciben las plantas (Holcman y Sentelhas, 2012), y afecta el crecimiento y rendimiento de las plantas. Por ejemplo, estudios realizados por Ramos-López *et al.* (2017) en un cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), observaron mayor transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) bajo una cubierta transparente, que resultó en mayor rendimiento de grano, con relación a la PAR que se transmite en una cubierta de color blanco. La elongación del tallo, el contenido de clorofila y rendimiento del fruto de las plantas de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Maximka fue mayor bajo invernaderos cubiertos con películas de polietileno de color rojo y amarillo que las observadas en cubiertas de color azul e incolora (Gmizo *et al.*, 2012).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) originario de Sudamérica y domesticado en México es un cultivo hortícola muy importante en el mundo debido a los beneficios económicos que genera su comercialización (Délices *et al.*, 2019)

A nivel mundial la producción de tomate en 2018 fue de 182.56 millones de toneladas (Statista, 2020). Donde China e India son los principales líderes de producción y México ocupa el noveno lugar con una producción de 4.5 millones de toneladas (Freshplaza, 2020).

México es el principal exportador de tomate rojo del mundo; en 2018 contribuyó con un 24.1% de las exportaciones totales (TradeMap, 2019). En 2019 los principales productores de tomate en México fueron: Michoacán, Durango, Coahuila y baja california con 63.931 toneladas (Forbes, 2020)

México tiene más de 51 179 hectáreas de acuicultura protegida, de los cuales alrededor de 12 694 son invernaderos y las otras 38 486 corresponden a malla sombra y macrotúnel, siendo el tomate el principal cultivo que se produce bajo este sistema con un 21% (TecnoAgro, 2020).

OBJETIVO

Evaluar la intensidad y distribución espectral de la radiación solar que se transmite en cuatro cubiertas de invernadero de diferentes características y color y su efecto en el contenido relativo de clorofila, la tasa de fotosíntesis, el crecimiento y rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

HIPÓTESIS

Las características espectrales de la radiación que se trasmite en cada cubierta, y que incide sobre las hojas de las plantas tendrá un efecto diferente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto tendrá un fuerte impacto en el rendimiento y calidad de frutos de un cultivo de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del uso de cubiertas plásticas en la agricultura.

Actualmente en la agricultura se practica una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos (López *et al.*, 2011). El uso de invernaderos como agricultura protegida es de gran importancia en todo el mundo porque son sistemas de producción para cultivos de frutas y hortalizas de alta calidad (Agehara *et al.*, 2020). La implementación de plásticos ha mejorado los métodos de producción agrícola en diferentes aplicaciones en forma de películas para acolchado, micro túneles, túneles e invernaderos (García-Enciso *et al.*, 2015). La cubierta de un invernadero es el componente principal para establecer la cantidad y calidad de la radiación difusa y reflejada (longitud de onda corta y onda larga). Estas propiedades son esenciales para determinar el clima interior, calefacción y cantidad de agua necesarios para la producción de cultivos (Baeza *et al.*, 2020; Al *et al.*, 2020). Las cubiertas también facilitan un óptimo rendimiento de la planta, prolonga la duración de la producción, induce la precocidad y se tienen mayores rendimientos y mejor calidad (Gruda, 2014).

Tipos de cubiertas plásticas para invernaderos.

Los tipos de cubiertas para invernadero se clasifican en cubiertas de vidrio y cubiertas plásticas como: Lamina de acrílico, policarbonato, polimetacrilato, poliéster, polietileno(PE), Cloruro de polivinilo (PVC) y etileno vinilo de acetato (EVA) (Bialar, 2019; Inverurop, 2020). Los filmes plásticos utilizados para cubierta de invernadero normalmente tienen espesores entre 80 y 220 y anchos de hasta 20 metros según sea la tecnología de la empresa fabricante. En mercados avanzados se pueden encontrar filmes “monocapa” y tricapa (Acuña, 2018).

Existen varios factores a tener en cuenta para elegir el plástico para el invernadero, por ejemplo: Termicidad, transparencia, ligereza, duración y propiedades anti-goteo. Dado que los factores a tener en cuenta son muy importantes, los tipos de plásticos más utilizados para cubiertas tienen las siguientes características. (Sistemas Hortícolas, 2019; Agropinos, 2019).

<i>Material</i>	<i>Térmico</i>	<i>Espesor (gg)</i>	<i>Duración</i>	<i>Color</i>	<i>Azufre (ppm)</i>
<i>Plástico PE</i>	Si	800	3 años	Incoloro/Amarillo	3000 ppm
<i>Plástico PE</i>	Si	800	3 años	Incoloro/Amarillo	5000 ppm
<i>Plástico PE</i>	Si	800	4 años	Incoloro	4000 ppm
<i>Plástico PE multitúnel</i>	Si	900	3 años	Incoloro	5000 ppm
<i>Plástico PE</i>	No	720	2 años	Incoloro/Amarillo	
<i>Plástico PE</i>	Si	600	2 años	Incoloro/Amarillo	

Figura 1. Características de los materiales para invernadero más usados en la agricultura (Sistemas Hortícolas, 2019).

Otras características a tomar en cuenta para elegir una cubierta para invernadero son: peso, densidad, espesor, resistencia y durabilidad, y las características más importantes son: propiedades anticondensantes y propiedades antiestáticas (Marlow, 2013; Ponce, 2013). Existe también en el mercado el polietileno térmico de baja densidad que tiene buena duración y difusión de luz, es de color blanco translucido y también es ampliamente utilizado en invernaderos (Novagric, 2016). Sin embargo, estas películas tienen menos resistencia a la degradación a la intemperie, reduciendo su transmitancia a la radiación solar (Abdel-Ghany *et al.*, 2018).

Efecto del color y propiedades de las cubiertas plásticas.

El efecto de las cubiertas de invernadero del tipo comercial o modificados tiene gran impacto en los cultivos, por ejemplo: el efecto en los cambios de microclima, crecimiento y calidad de: Lechuga (*Lactuca sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el melón (*Cucumis melo* L.) fue mayor en películas de invernadero con pigmentación de color rojo-azul, en comparación a los colores rojo y azul (Kwon *et al.*, 2013). La tasa de fotosíntesis foliar promedio de un cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. cv. Sovana F1, Rijk Zwaan; Holanda) fue mayor en una película de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) con pigmentos reflectantes de infrarrojo cercano (NIR) y alta transmisividad de (PAR) que la de las plantas que crecieron bajo las películas comerciales de polietileno de baja densidad (Alsadon *et al.*, 2016).

Con las películas de polietileno difuso de alta densidad en invernaderos se puede obtener mayor rendimiento de plantas de tomate cherry (cv. cerasiforme) con respecto al obtenido en invernaderos con pantalla de sombra termo-reflectante. (Holcman *et al.*, 2017).

Estudios realizados por Mota *et al.* (2009) mostraron que la tasa de fotosíntesis foliar de plantas de vid (*Vitis vinifera* L.) cv Sauvignon, que crecieron bajo cubierta de polipropileno con filtros de radiación ultravioleta, fue mayor que el de las plantas que crecieron a cielo abierto. En otro estudio (Oliveira *et al.*, 2016) se observó que la tasa de fotosíntesis foliar de plantas de Toronjil (*Melissa officinalis*) en crecimiento bajo mallas de color rojo y azul, fue menor que la de las plantas en crecimiento a cielo abierto.

El cultivo de Tomate.

El tomate (*Solanum lycopersicum*) pertenece a la familia Solanaceae, cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum*. Es una planta perenne de porte arbustivo (Infoagro, 2013). Originario de los bajos Andes que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero fue domesticado en México (SIAP, 2017). En México, los principales estados productores de tomate son: Sinaloa, Baja California, Estado de México y Sonora, donde el 87% de la superficie cultivada se realiza bajo agricultura protegida (FIRA, 2017).

Importancia económica y social del cultivo de tomate

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) es la hortaliza más cultivada en el mundo y la de mayor valor económico (Escobar y Lee, 2009; Laiton *et al.*, 2012; Maldonado *et al.*, 2016). A nivel mundial, la producción de tomate rojo en 2016 fue de 177 millones de toneladas, donde China e India son los principales productores y México ocupa el décimo lugar (CIMA, 2018). Del año 2007 al 2017, la superficie de tomate establecida con agricultura protegida se incrementó de 1 973 a 15 198 hectáreas, que correspondió a una tasa promedio anual de 22.7% (El Economista, 2019). Por último, el tomate es uno de los cultivos hortícolas más importantes producidos en el mundo debido a que representa una alta aceptación por los consumidores y forma parte importante de la gastronomía mundial. El mercado del tomate fresco es altamente competitivo y la diversificación del tomate fresco se vuelve cada vez más importante (Horticultivos, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio.

El estudio se realizó en la propiedad denominada rancho Nueva Rosita, Cedral, San Luis Potosí, México, a 23° 51' 9'' N, 100° 41' 26' O, y 1750 msnm, el clima que predomina en la localidad es seco-templado, con temperaturas promedio anual de 16.8 °C y precipitación de 420 mm (Inafed, 2018).

Características de las cubiertas e invernaderos.

Se construyeron cuatro invernaderos de forma ovalada de 21 m de largo, 8 m de ancho y 5.5 m de alto, separados 12 m. La orientación fue norte-sur, con la puerta de accesos en el lado norte. Se evaluaron cuatro películas de polietileno difuso de alta densidad con 70% de transmisividad, 85% de difusividad y un espesor de 180 micras. Una fue de tipo comercial de color blanco lechoso (0.94 g cm⁻³), otra fue una formulación diseñada y patentada por el centro de investigación en química aplicada (CIQA), con propiedades de termorregulación (blanco lechoso brillante), y dos más que también fueron formuladas por el CIQA a las que se le dio pigmentación de color rojo y azul. Las películas se elaboraron con base a la formulación de aditivos de la Patente Mexicana No. 311701 desarrollada por el CIQA.



Figura 2. Invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de colores rojo, azul, blanco lechoso y blanco comercial, instalados en la propiedad denominada rancho Nueva Rosita, Cedral, San Luis Potosí, México.

Establecimiento del cultivo.

Para el estudio se estableció un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de crecimiento indeterminado, híbrido Cedral 2012. Las plantas se trasplantaron (15 días después de germinación) en bolsas de plástico (cocopeat de 9 L. de capacidad) con sustrato hidropónico de musgo y fibra de coco el 15 de julio de 2018. Las bolsas se establecieron en un arreglo de tresbolillos separadas 50 cm. Se establecieron dos franjas de plantas separadas 3 m respecto al centro en cada invernadero el invernadero (61 plantas por línea). Las plantas se regaron con un sistema de riego por goteo aplicando cinco riegos diarios con un tiempo promedio de 13 min. Las dosis y frecuencia de los nutrientes indicados para este cultivo se aplicaron en los riegos, con base a la propuesta de Howard Resh para tomate cultivado sin suelo (Howard, 2001).

Instrumentación y mediciones.

Las características espectrales de la radiación solar (de 400 a 700 nm) que incide y se transmite a través de cada cubierta se determinaron con un espectro radiómetro (modelo PS-100, Apogge Inst., Logan, Utah, USA). Las mediciones se realizaron bajo condiciones de cielo despejado (20 al 30 de julio) al medio día, primero orientando el sensor hacia el zenit y después colocando cada cubierta sobre el sensor.

La radiación solar en la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (400 a 700 nm) que incide y se transmite en cada cubierta se midió colocando sensores quantum (modelo SQ-512, Apogge Inst., Logan, Utah, USA) a campo abierto y al centro del interior de cada invernadero (1.20 m sobre la superficie del suelo). Los sensores se conectaron a un datalogger (modelo CR1000, Campbell, Sci., Logan, Utah, USA), para realizar mediciones a una frecuencia de un segundo y promedios de 30 min en forma continua durante el ciclo de crecimiento del cultivo (10 de agosto al 7 de diciembre, 2018)

La temperatura del aire dentro de cada túnel se obtuvo colocando sensores de temperatura (Therm 107, Campbell, Sci., Logan, Utah, USA). La temperatura del aire a campo abierto se determinó con una sonda de temperatura y humedad relativa (modelo HC2S3, Campbell, Sci., Logan, Utah). Estos sensores también se conectaron a un datalogger CR1000, para realizar a lecturas a la misma frecuencia de 1 s y promedios de 30 min.



Figura 3. Medidor de radiación PAR Quantum sensor (SQ-512, Apogee, Instruments, Logan, Utah, USA).

Crecimiento de las plantas.

Cada 15 días durante el ciclo de crecimiento del cultivo, se realizaron mediciones del contenido relativo de clorofila de las hojas (medidor portátil de clorofila, SPPAD 502 plus, Minolta, Japan), fotosíntesis y transpiración foliar (medidor portátil de fotosíntesis, LI-6800, LI-COR, Nebraska, USA) y temperatura foliar (termómetro infra red, MI-220, Apogee, Inst., Logan, Utah, USA). También se midió la altura de las plantas (flexómetro) y diámetro del tallo (vernier digital). En la cosecha se determinó el número de frutos por planta, frutos cosechados, diámetro (vernier digital) y peso (bascula digital) promedio del fruto y el rendimiento por planta.

Evaluación estadística.

El efecto de la radiación transmitida en cada túnel en la temperatura foliar y contenido de clorofila, tasa de fotosíntesis y transpiración foliar, altura de plantas y parámetros del rendimiento, se evaluó con un diseño estadístico completamente al azar con cuatro tratamientos (cubierta de cada invernadero), con submuestreo de cuatro submuestras de cuatro plantas, para un total de 16 plantas evaluadas por tratamiento (invernadero). La prueba de medias de tratamientos se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características espectrales de la radiación transmitida en las cubiertas.

La radiación solar transmitida en la banda de 400 a 700 nm de longitud de onda (radiación PAR), en la cubierta de polietileno difuso de alta densidad (versión comercial) fue muy similar a la observada en la cubierta patentada por el Centro de Investigación en Química Aplicada (cubierta_ciq) (Figura 1). Nótese que el pico de mayor transmisividad ocurre a aproximadamente 555 nm, al igual que el pico de la radiación solar incidente. Ambas cubiertas tienen mayor transmitancia en toda la banda de longitud onda (400 a 700 nm) que las de polietileno difuso del color azul y rojo. El pico de mayor transmisividad del polietileno azul se ubica entre 500 y 525 nm, pero de 400 a 500 nm la transmitancia es muy similar a la de las cubiertas de versión comercial y la patente ciqa, y de 600 a 700 nm es la de menor transmisividad de todas las cubiertas (Figura 1).

La cubierta de polietileno rojo tiene la transmisividad más baja de todas las cubiertas en la banda de 400 a 575 nm, pero se incrementa rápidamente a partir de esta longitud de onda y hasta los 700 nm, siendo mayor que la del polietileno de color azul y muy similar a la de las otras cubiertas. (Figura 1). Estas características espectrales de las cubiertas pueden tener diferentes efectos en el crecimiento y rendimiento de las plantas. En la cubierta de polietileno difuso de alta densidad (versión comercial) se transmitió el 56.98 % de la radiación solar incidente (en la banda de 400 a 700 nm) y fue muy parecida a la que se transmitió en la cubierta de patente ciqa (59.10 %) (Cuadro 1). En las cubiertas de color azul y rojo la transmisividad fue mucho menor, 31.4 % en la de color azul y 24.91 % en la de color rojo. Estas transmitancias son mucho menores que las observadas en cubiertas de otros materiales. Por ejemplo, Fuina *et al.* (2016), encontraron que la transmisividad a la PAR de las cubiertas transparentes de plástico rígido para invernadero como: policarbonato, polimetilmetacrilato y tereftalato de polietileno es de hasta 80%, mientras que, la del policarbonato azul es aproximadamente 50%. La transmitancia a la PAR de las cubiertas de polietileno térmico de larga duración no fotoselectivas es mayor que las que si lo tienen (Mascarini *et al.*, 2012). Estudios realizados por Schettini *et al.* (2011) mostraron que el coeficiente de transmisividad a la radiación PAR fue mayor en

una película de polietileno difuso de baja densidad (200 μm de espesor) que el de las cubiertas fotoselectivas de color verde. En el primer medio de la radiación PAR (400 a 550 nm), las cubiertas de versión comercial y de patente ciqa, tuvieron básicamente la misma transmisividad 54.91 y 54.49 % respectivamente de la radiación PAR incidente en dicha banda (Cuadro 1); mientras que en la de color azul fue 41.03 % y la de color rojo solo el 8.43 %. En el segundo medio de la banda de la radiación PAR (550 a 700 nm), la cubierta de patente ciqa tuvo mayor transmisividad (62.53 %) de la PAR incidente, seguida por la de versión comercial (58.54 %), la de color rojo 37.8 % y la de menor transmisividad fue la de color azul con solo el 24.38 %. (Cuadro 1). Nuevamente, estas diferencias en las características espectrales de la radiación PAR que se transmite en cada cubierta pueden impactar en el crecimiento y rendimiento de las plantas.

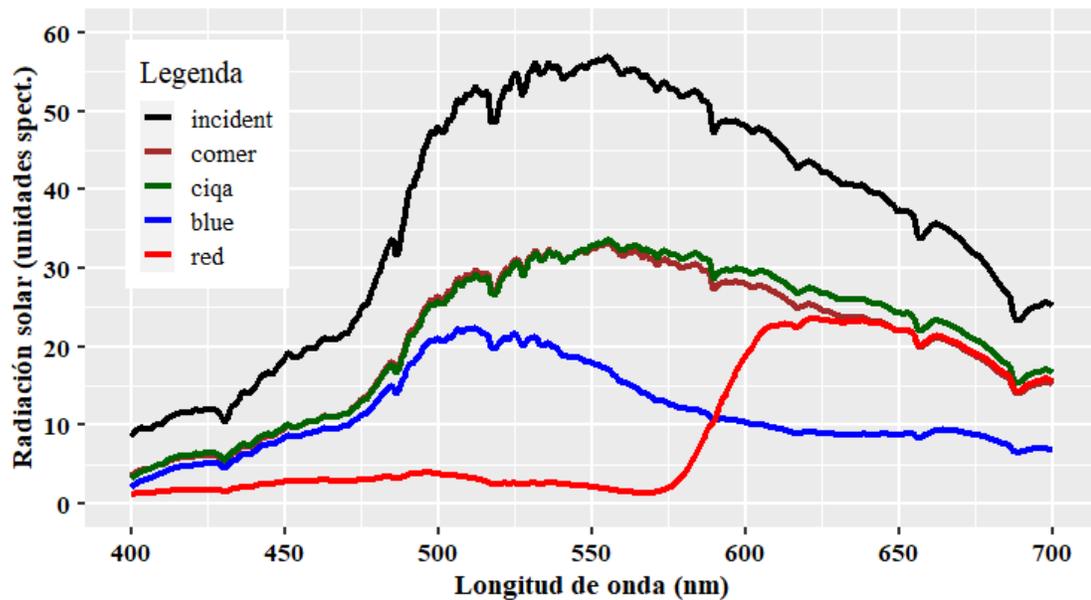


Figura 4. Características espectrales de la radiación solar incidente en la banda de 400 a 700 nm (PAR), y la que se transmite en las cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de tipo comercial (comer), de propiedades de termorregulación de patente ciqa, de pigmentación azul y de pigmentación roja.

Cuadro 1. Relación porcentual de la radiación solar que se transmite en las diferentes cubiertas de los invernaderos, en diferentes rangos de la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (400 a 700 nm).

Cubierta	400 a 700 nm (%)	400 a 550 nm (%)	550 a 700 nm (%)
Polietileno difuso comercial	56.98	54.91	58.54
Polietileno difuso patente ciqa	59.10	54.49	62.53
Polietileno difuso color azul	31.49	41.03	24.38
Polietileno difuso color rojo	24.91	8.43	37.18

Radiación solar transmitida en las cubiertas.

El polietileno de patente ciqa fue de mayor transmitividad a la radiación solar incidente, en la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), a través de las horas del día (8:00 a 20:00 h), durante el ciclo de crecimiento del cultivo; seguido por el polietileno difuso de tipo comercial, y en menor cantidad el polietileno difuso de color azul y el de color rojo, con muy poca diferencia entre los últimos dos (Figura 2). Entre las 13:00 y las 15:00 h del día, se observó la incidencia mayor de radiación PAR, y las diferencias de transmisividad en las diferentes cubiertas fueron mayores.

Entre las 8:00 y las 10:00 h y después de las 18:00 h la transmisividad de las cubiertas fue muy similar en las diferentes cubiertas (Figura 2). Estudios realizados por Romero-Gómez *et al.* (2012) mostraron que la transmisividad a la PAR de una película de polietileno de alta densidad de color blanco lechoso fue 88 %, mientras que la del polietileno de color verde fue 61 %. En otro estudio, se observó que la mayor transmisividad a la PAR del polietileno blanco lechos es 70% y se observa entre las 9:30 y las 12:00 h (Flores-Ortega *et al.*, 2012). En un estudio realizado con mallas sombra de diferentes colores, se observó que, durante las horas de mayor incidencia de radiación, la transmisividad a la PAR de la malla de color rojo fue 65.40%, mientras que la del color azul fue 63.18% (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015).

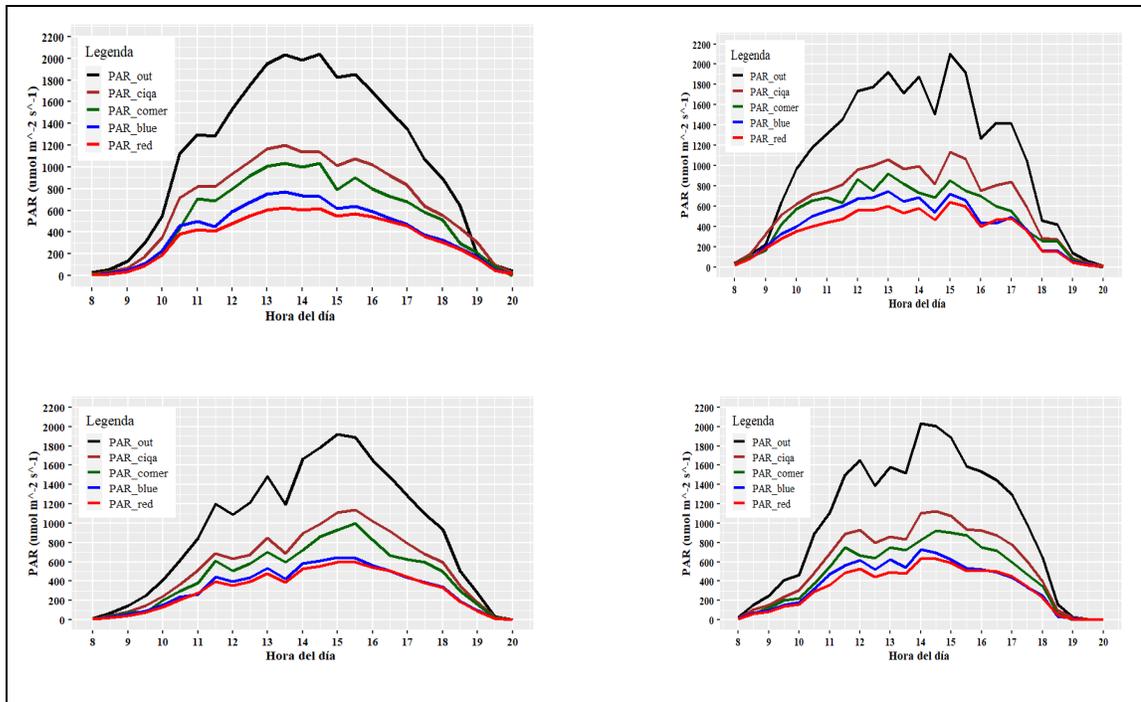


Figura 5. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) que incide (PAR_out) y la que se transmite en los invernaderos con cubierta de polietileno difuso de patente ciqa (PAR_ciqa), polietileno difuso de tipo comercial (PAR_comer), polietileno difuso de color azul (PAR_blue) y de color rojo (PAR_red), durante el ciclo de crecimiento de las plantas de tomate.

Temperatura foliar y del aire dentro de los invernaderos.

Las diferencias en la radiación solar transmitida en cada cubierta de polietileno, tuvieron poco efecto en la temperatura del aire al interior de los invernaderos (Cuadro 2). La máxima diferencia de la temperatura promedio diaria en el ciclo de crecimiento del cultivo, entre las diferentes cubiertas fue de solo 0.56 °C. La diferencia entre la temperatura promedio diaria a cielo abierto y dentro de los túneles a través del ciclo de crecimiento de las plantas fue 3.57 °C para el túnel con cubierta de polietileno difuso de color rojo, 3.38 °C para el de cubierta con patente ciqa, 3.09 °C para el color azul y 3.01 °C para el polietileno de tipo comercial. Estas diferencias de temperatura son menores a las reportadas por otros estudios. Por ejemplo, Arcidiacono *et al.* (2006) reportaron que la temperatura dentro de un invernadero con una cubierta de película roja fotoselectiva

(EVA de 150 μm) al sureste de Sicilia, Italia fue 12.2 °C mayor que la temperatura a cielo abierto; mientras que bajo una cubierta de polietileno difuso de color lechos fue 8.8 °C mayor. El material y color de la cubierta de los invernaderos influye en la temperatura del aire dentro del mismo. Saleh *et al.* (2003) reportaron que la máxima temperatura del aire dentro de un invernadero con una cubierta de polietileno rojo fue 43.53 °C, mientras que para la cubierta de polietileno de color amarillo-verdoso fue 41.91 °C, para el polietileno azul fue 40.76 °C y para el de color violeta 39.76 °C. Otros estudios han mostrado que el color de la cubierta no tiene efecto en la temperatura del aire dentro del invernadero. Por ejemplo, Atilgan *et al.* (2019) observaron la misma temperatura máxima del aire (29 °C) dentro de un invernadero con cubierta de polietileno transparente, de color rojo y azul.

Cuadro 2. Temperatura promedio diaria del aire a campo abierto y dentro de cada invernadero de diferente cubierta, a través del ciclo de crecimiento del cultivo de tomate.

Fecha	Cielo abierto (°C)	Polietileno difuso de tipo comercia (°C)	Polietileno difuso patente ciqua (°C)	Polietileno o difuso de color rojo (°C)	Polietileno o difuso de color azul (°C)
15 ago al 1 de sept	21.43	26.33	26.65	26.15	25.53
1 al 20 de sept	20.25	20.67	24.49	24.65	24.37
20 de sept al 9 de oct	19.73	23.35	23.07	23.04	22.71
9 al 16 de oct	20.16	22.93	22.34	22.88	22.50
16 al 26 de octubre	18.01	21.16	20.97	21.42	20.90
26 de oct al 9 de nov	17.10	19.78	19.41	19.93	19.18
9 al 21 de nov	12.23	16.07	16.07	16.19	15.86
21 de nov al 7 de dic	13.8	16.5	16.7	17.0	16.4
Promedio total	17.84	20.85	21.22	21.41	20.93

La temperatura foliar de las plantas dentro del invernadero con cubierta de polietileno difuso de color rojo fue mayor que la de las plantas dentro del túnel con cubierta de patente ciga y de versión comercial, pero iguala a la de las plantas en el invernadero con polietileno de color azul (Figura 3) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). La temperatura foliar mayor de las hojas en el invernadero con cubierta de polietileno difuso de color rojo correspondió con una temperatura del aire más alta dentro de dicho invernadero (Cuadro 2), que también coincidió con una menor tasa de transpiración foliar de las plantas dentro del invernadero con polietileno rojo (Figura 6). Al decrecer la tasa de transpiración, la temperatura foliar puede aumentar. (Baptista *et al.*, 2005; Soto-Bravo, 2018). Un follaje con mayor temperatura dentro de un invernadero puede incrementar la temperatura del aire, debido al aumento de la emisión de radiación infra red por el follaje de las plantas. Por ejemplo, un aumento de 25 °C a 25.25 °C del follaje de un cultivo dentro de un invernadero incrementa la emisión de radiación infra red 1.43 W m²; si esta radiación es absorbida por una capa de aire de 3 m de altura, resultaría en un aumento de la temperatura del aire de 1.82 °C en un tiempo de 6 h. Soto-Bravo (2018) observó que, para condiciones de riego oportuno, la temperatura foliar de plantas de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L.) cv Super Suncherry y de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) Híbrido Polaris fue 6.5°C y 7.3°C inferior que la temperatura del aire (32.9 °C) al medio día. Pero, cuando las plantas están bajo estrés hídrico, la temperatura foliar fue 4 °C y 6 °C superior a la temperatura del aire de cada cultivo respectivamente; debido a que la reducción de la tasa de transpiración limita el enfriamiento evaporativo de las hojas. La temperatura foliar de las plantas que crecen dentro de los invernaderos también depende de las propiedades espectrales de la cubierta. Samaniego-Cruz *et al.* (2002) reportaron que la temperatura foliar promedio diario de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Floradade y pimiento morrón cv Capistrano, bajo cubiertas de polietileno con aditivos reflejantes de radiación solar y absorbentes de radiación infra roja, fue 0.5 y 1.5 °C respectivamente menor que la temperatura de las hojas, de plantas similares que crecieron bajo una cubierta de polietileno comercial.

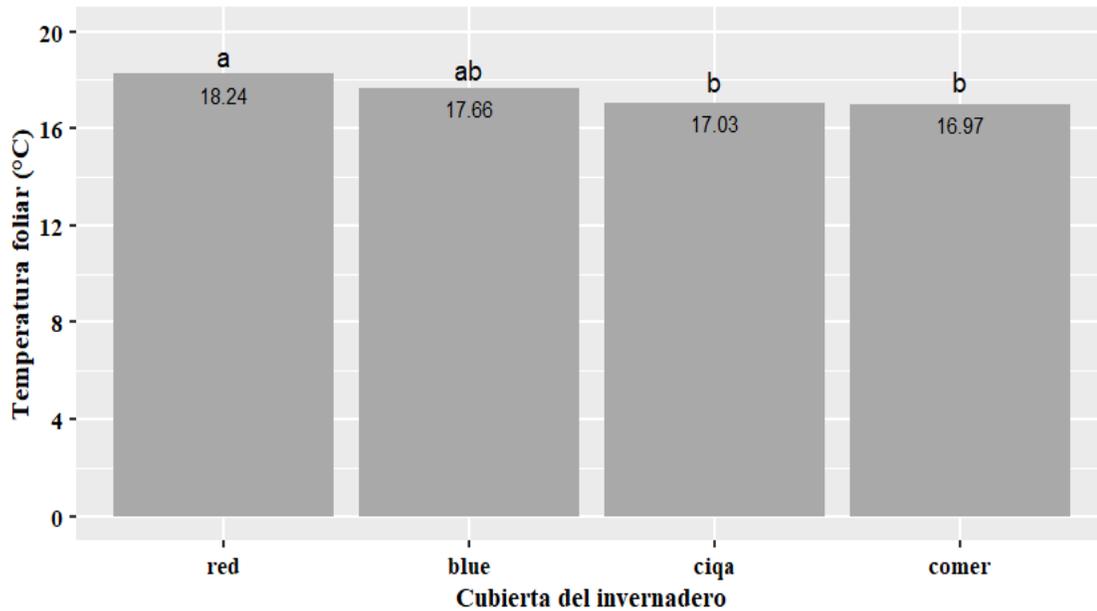


Figura 6. Temperatura foliar de las hojas de las plantas de tomate (hibrido Cedral) en invernaderos con polietileno difuso de diferente color y propiedad.

Tasa de fotosíntesis, transpiración y contenido de clorofila.

Las diferencias en la distribución porcentual de la radiación solar que se transmitió, en los diferentes rangos de longitud de onda de la PAR en cada cubierta de invernadero (Cuadro 1), y diferentes magnitudes de la radiación transmitida durante el ciclo de crecimiento del cultivo (Figura 2), no tuvo efecto en el contenido relativo de clorofila de las hojas (Figura 4) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), ni en la tasa de fotosíntesis foliar (Figura 5) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto mostró que las plantas tuvieron la capacidad de producir la misma cantidad de clorofila para las diferentes magnitudes y características espectrales de la radiación recibida bajo las diferentes cubiertas y realizar la misma tasa de fotosíntesis foliar. Sin embargo, en otras plantas se pueden tener resultados diferentes. Al respecto, He *et al.* (2017) observaron que la tasa de fotosíntesis foliar de plantas de Ramo de novia (*S. stolonifera*) bajo una cubierta de polietileno de color blanco y rojo fueron iguales, pero mayores a la observada en las plantas bajo el polietileno de color azul. Estudios realizados por Casierra-Posada *et al.* (2017) mostraron que el contenido de clorofila de las hojas de las plantas de fique (*Furcraea hexapetala*) decrece a medida que se reduce la iluminación de la cubierta de polipropileno. El contenido de clorofila de las hojas de plantas de

pimiento morrón, var. Kárpia F1 que crecieron bajo cubierta de polietileno y malla sombra de diferentes colores, fue menor que el de las plantas bajo el polietileno sin las mallas sombra (Ombodi *et al.*, 2015). Plántulas de pepino (*Cucumis sativus*) que se desarrollaron bajo luz roja y azul, tuvieron menos contenido de clorofila y tasa de asimilación de bióxido de carbono, con relación a las plantas en desarrollo bajo luz blanca (Su *et al.*, 2013). Las plantas bajo la cubierta de polietileno difuso de color rojo recibieron menos radiación y tuvieron menor tasa de transpiración foliar (Figura 6). Las plantas que crecieron bajo la cubierta de polietileno difuso de tipo comercial tuvieron mayor tasa de transpiración foliar (Figura 6) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$); una mayor tasa de transpiración foliar puede ocasionar un efecto de enfriamiento (Soto-Bravo, 2018) que puede reducir la temperatura del aire. En el Cuadro 2, se observa que la temperatura del aire dentro del invernadero con cubierta de polietileno difuso de alta densidad (versión comercial) fue menor que la observada bajo las otras cubiertas.

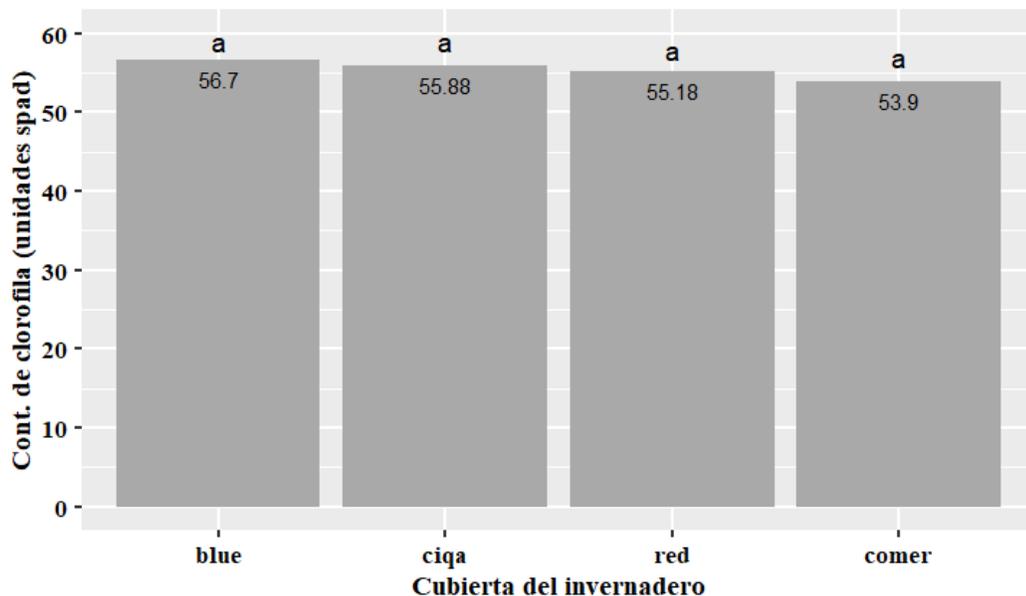


Figura 7. Contenido relativo de clorofila en las hojas de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo macro túneles con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.

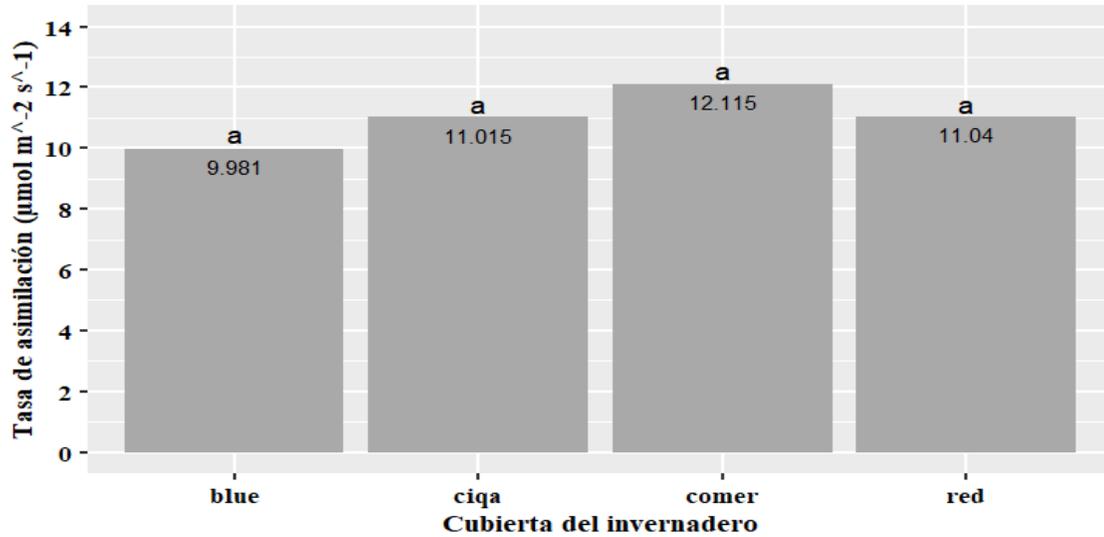


Figura 8. Tasa de fotosíntesis foliar de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo invernaderos con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.

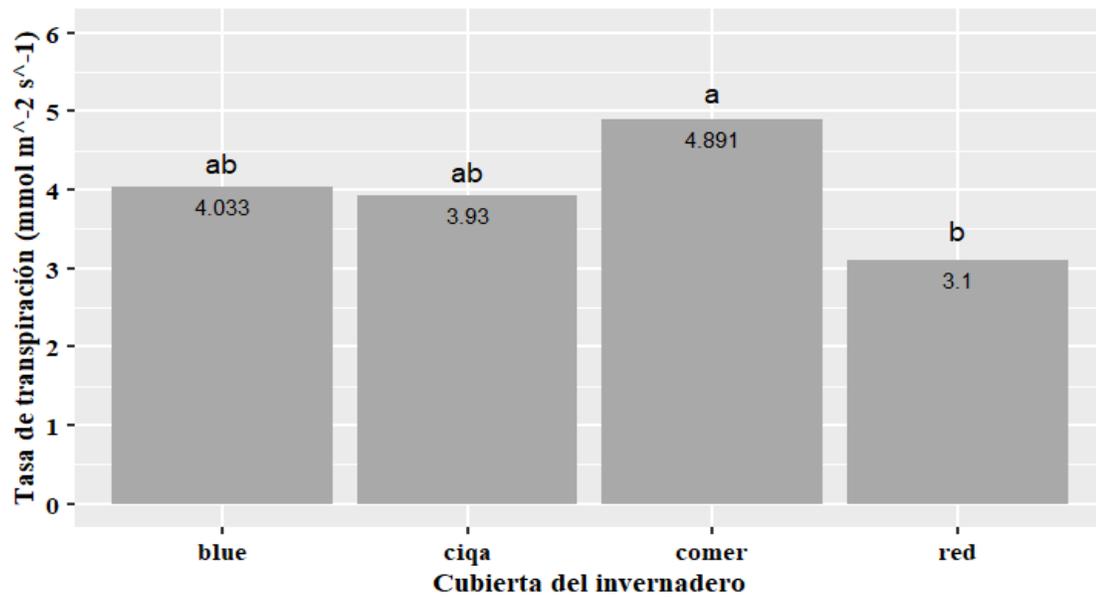


Figura 9. Tasa de transpiración foliar de las plantas de tomate (hibrido Cedral) bajo invernaderos con cubierta de polietileno difuso de diferente color y material.

Crecimiento y rendimiento de las plantas.

Las características espectrales de la radiación transmitida en cada cubierta de invernadero (Figura 1) y la magnitud de la misma (Figura 2), afecto la altura y diámetro del tallo de las plantas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) (Figuras 7 y 8). Las plantas que crecieron bajo el polietileno difuso de color rojo y azul fueron de mayor altura, pero de menor diámetro de tallo (Figuras 7 y 8) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto probablemente se debió a una menor radiación solar recibida en la banda de 400 a 550 nm, por las plantas que crecieron en el invernadero con cubierta de polietileno difuso de color rojo (Figura 1); mientras que las plantas bajo el invernadero con cubierta de polietileno difuso de color azul recibieron menor radiación en la banda de 550 a 700 nm (Figura 1). Esto indujo la elongación del tallo que resultó en plantas de mayor altura, pero de menor diámetro de tallo. Delgado-Tobón *et al.* (2020) también observaron una reducción del diámetro del tallo de las plantas de tomate que crecen bajo películas de polietileno con pigmentación de color rojo y azul, con relación a las plantas bajo cubiertas de polietileno sin pigmentos de color. La altura del tallo de plantas de trigo (*Triticum durum*) en un invernadero con cubierta de polietileno foto selectivas con pigmentación de color verde, azul y rojo fue mayor que la de las plantas establecidas a cielo abierto (De Salvador *et al.*, 2008).

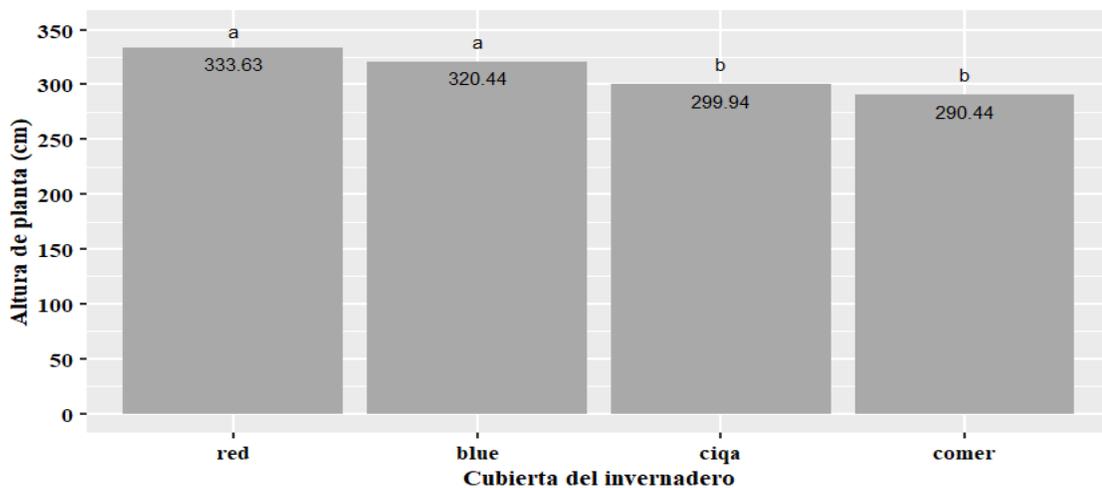
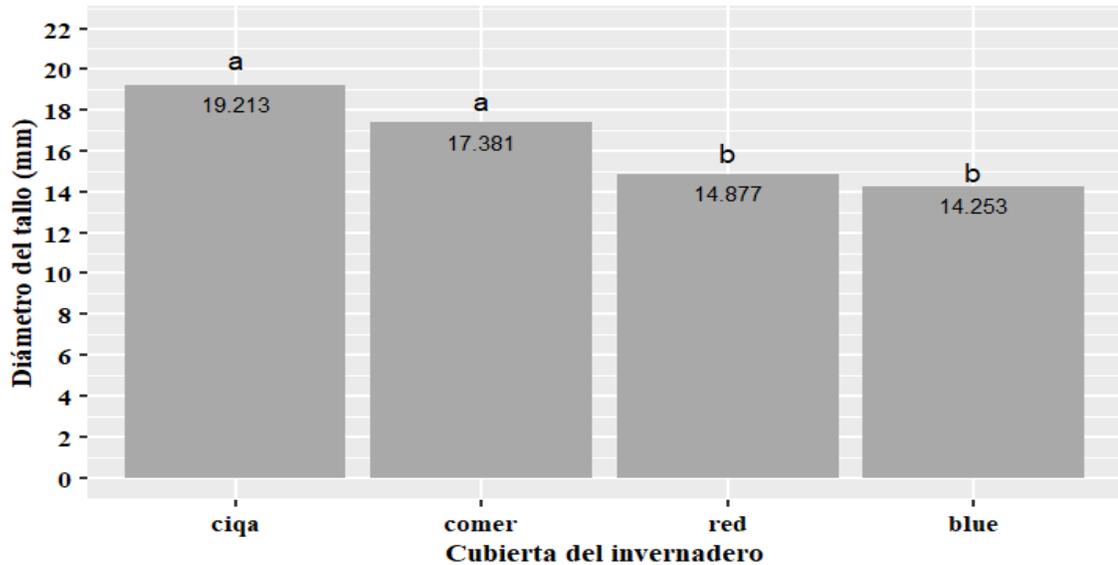


Figura 10. Altura de plantas de tomate (hibrido Cedral) en los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferente color y propiedades.



11 Figura. Diámetro del tallo de las plantas de tomate (híbrido Cedral) en los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferente color y propiedades.

El peso total de frutos por planta fue mayor en los invernaderos con cubierta de polietileno difuso de color rojo y azul, que el observado bajo los invernaderos con cubierta de polietileno de tipo comercial y patente ciqa (Cuadro 3) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto se debió a frutos de mayor peso y diámetro (Cuadro 3) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Las plantas en el polietileno de tipo comercial tuvieron menor número de frutos cosechados (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), mientras que bajo el polietileno de patente ciqa se observó el menor peso promedio del fruto (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). El mayor rendimiento de frutos de las plantas que crecieron bajo los invernaderos con polietileno difuso de color rojo y azul, probablemente se debió a que la menor proporción de radiación solar que las plantas recibieron en la banda de 400 a 550 nm (en el invernadero con polietileno rojo), y en la banda de 550 a 700 nm (en el invernadero con polietileno azul), estimuló las plantas a destinar más fotosintatos al crecimiento y desarrollo de los frutos. En otros estudios también se ha observado mayores rendimientos de las plantas creciendo bajo cubiertas plásticas de diferentes colores y características. Por ejemplo, Hemming et al. (2006) reportaron que el rendimiento de frutos de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) cv Elsanta, que crecieron bajo una película fluorescente de pigmentación azul, fue 11% mayor al obtenido por las plantas bajo una cubierta de polietileno de baja densidad, debido a mayor

número de frutos por planta. Sin embargo, el rendimiento de las plantas bajo una película fluorescente de pigmentación roja fue 10% menor al obtenido por las plantas bajo la película de polietileno. Otro estudio reportó mayor rendimiento de tomate var. Superdoterang Seminis, bajo películas de polietileno de color azul y de combinación azul-rojo; aunque, el rendimiento bajo la película de polietileno de color rojo fue menor, los frutos fueron de mayor tamaño (Joon-kook *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Parámetros del rendimiento de frutos del total de los cinco cortes realizado en el cultivo de tomate (hibrido Cedral) en invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de diferentes colores y propiedades, Cedral, San Luis, Potosí, México.

Polietileno del invernadero	Frutos cosechados	Diámetro promedio del fruto (mm)	Peso promedio del fruto (g)	Rendimiento (g/planta)
Rojo	13.63 ^{ab}	66.64 ^a	189.01a	2447.17 ^a
Azul	13.31 ^{ab}	68.25 ^a	200.92a	2499.65 ^a
CIQA	16.89 ^a	55.07 ^c	116.88c	1445.40 ^b
comercial	11.56 ^b	60.65 ^b	149.20b	1577.17 ^b

Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

Las plantas que crecieron bajo los invernaderos con cubiertas de polietileno difuso de alta densidad de pigmentación azul y rojo recibieron menor radiación solar en la banda de 400 a 700 nm de longitud de onda, que las cubiertas de polietileno difuso de tipo comercial y de patente ciga. Además, la proporción de radiación en el segmento de 400 a 550 nm recibida por las plantas bajo el invernadero con cubierta de color rojo fue mucho menor que el recibido por las otras cubiertas, mientras que las plantas en el invernadero con cubierta de polietileno de color azul, recibieron menor radiación solar en el segmento de 600 a 700 nm. Esto no afectó el contenido de clorofila ni la tasa de asimilación de bióxido de carbono; sin embargo, tuvo efecto significativo en mayor altura de plantas, con menor diámetro de tallo, mayor rendimiento de frutos por planta, con frutos de mayor peso y tamaño.

REFERENCIAS

- Abdel-Ghany, A. M., I. M. Al-Hela, A. kumar, A. A. Alsadon, M. R. Shandy, and A. A. Ibrahim. 2018. Effect of aging on the spectral radiative properties of plastic film-covered greenhouse under arid conditions. *International Journal of Thermophysics* 39:100-115.
- Acuña, R. 2018. Consideraciones de importancia para el uso de cubiertas plásticas en invernaderos. Facultad de ciencias agrarias. Fecha de consulta: junio 2020. Recuperado de <https://agrarias.uach.cl/consideraciones-de-importancia-para-el-uso-de-cubiertas-plasticas-en-invernaderos/>.
- Agehara, S., G. Vallad, and E. Torres-Quezada. 2020. Protected Culture for Vegetable and Small Fruit Crops: Types of Structures. *EDIS* 5:1-3.
- Agropinos.2019. Conozca los tipos de plástico para su invernadero. Fecha de consulta: agosto 2020. Recuperado de <https://www.agropinos.com/tipos-de-plastico-para-invernadero>.
- Al-Helal, I., A. Abdullah, S. Mohamed, I. Abdullah and A. Ahmed abdel-ghany. 2020. Difusion Characteristics of Solar Beams Radiation Transmitting through Greenhouse Covers in Arid Climates. *Energies* 13(2):1-15.
- Alsadon, A., I. Al-Helal, A. Ibrahim, A. Abdel-Ghany, S. Al-Zaharain, and T. Ashour. (2016). The effects of plastic greenhouse covering on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth. *Ecological Engineering* 87: 305-312.
- Arcidiacono, C., A. D'Emilio, R. Mazzarella, and C. Leonardi. 2006. Covering materials to improve greenhouse microclimate during summer in hot climates. *Acta Horticulturae* 719(27): 247-254.
- Atilgan, A., A. Yücel, H. Aktaş, and F. Tunçbilek. 2019. Investigation of heating and cooling degree-hour values in greenhouses with different color cover materials: the case of lettuce plant. *Infrastructure and ecology of rural areas* 1(3): 235-252.
- Ayala-Tafoya, F., R. Sánchez-Madrid, L. Partida-Ruvalcaba, M. G. Yañez-Juarez, F.H Ruiz-Espinoza, T. J. Velázquez-Alcaraz, M. Valenzuela-López, y J. M. Parra-Delgado. 2015. Producción de pimienta con mallas sombras de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 93-99.
- Baeza, E.J., A. J. B. Van-Breugel, S. Herming, and C. Stanghellini. 2020. Smart greenhouse covers: a look into the future. *Acta Horticulturae* 1269: 213-224.
- Baptista, F.J., F. J. Bailey, and J. F. Meneses. (2005). Measuring and modelling transpiration versus evapotranspiration of a tomato crop grown on soil in a mediterranean greenhouse. *Acta Horticulturae* 691: 313-320

- Bialar. 2019. Tipos de Invernadero. Clasificación y Características. Construcción y Equipamientos. Fecha de consulta agosto 2020. Recuperado de <https://www.bialarblog.com/tipos-de-invernadero-clasificacion-caracteristicas/>.
- Casierra-Posada, F., F. Portilla-Fuentes, and J. Molano-Díaz. 2017. Combined effect of green-colored covers and shading on the growth of sisal (*Furcraea hexapetala*) plants. *Agronomía Colombiana* 35(3): 314-322.
- CIMA (2018). Centro de información de mercados agroalimentarios. Fecha de consulta: 10 de septiembre 2019. Recuperado de https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2018/Reporte_mercado_jitomate_130918.pdf.
- De Salvador, F. R., G. Scarascia-Mugnozza, G. Vox, E. Schettini, M. Mastrorilli, and M. Bou-Jaoudé. (2008). Innovative photoselective and photoluminescent plastic films for protected cultivation. *Acta Horticulturae* 801:115–121.
- Delgado-Tobón, A. E., W. A. Aperador-Chaparro, and R. G. Gacría-Cáceres. 2020. Effect of modified greenhouse covers on the development of plants of *lycopersicon esculentum* mill. *DYNA* 87(213): 91-97.
- Délices, G., O. R. Leyva-Ovalle, R. Núñez-Pastrana, R. Gámez-Pastrana, P. Andrés-Meza, R. Serna-Lagunes, and C. Mota-Vargas. 2019. Biogeografía del tomate *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Solanaceae) en su centro de origen (sur de América) y de domesticación (México). *Revista de Biología Tropical* 67(4): 1023-1036.
- El Economista (2019). Producción e intercambio comercial del tomate rojo. *El Economista*. Fecha de consulta: 6 de septiembre 2019. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/opinion/Produccion-e-intercambio-comercial-del-tomate-rojo-20190411-0086.html>.
- Emekli, N. Y., K. Büyüktaş, and A. Başçetinçelik. 2016. Changes of the light transmittance of the LDPE films during the service life for greenhouse application. *Journal of building engineering* 6: 126-132.
- Escobar, H., R. Lee. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. 2da ed. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 180p.
- FIRA (2017). Fidecomisos instituidos en relación con la agricultura. Fecha de consulta: 20 de septiembre 2019. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310>.
- Flores-Ortega, A., G. Martínez-Soto, J. C. Quiroz-Ramírez, F. R. Díaz-Serrano, and M. E. Romero-Valdez. 2012. Análisis de la transmitancia de luz en un invernadero para producción de jitomate. *Acta universitaria* 22(1): 5-10.
- Forbes. 2020. productores mexicanos de jitomate en EU. Fecha de consulta abril. Recuperado de <https://www.forbes.com.mx/>.

- Freshplaza. 2020. Los 10 principales países productores de tomate. Fecha de consulta abril 2020. Recuperado de <https://www.freshplaza.es/article/9223370/los-10-principales-paises-productores-de-tomate/>.
- Fuina, S., G. C. Marano, G. Puglisi, D. De Tommasi, and G. Scarascia-Mugnozza. 2016. Thermo-mechanical response of rigid plastic laminates for greenhouse covering. *Journal of Agricultural Engineering* 47(3): 157-163.
- García-Enciso, E. L., M. De La Rosa-Ibarra, M. R. Quezada-Martin, y M. A. Arellano-García. 2015. Efecto de una película plástica modificada en aspectos agronómicos del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 2105-2113.
- Gmizo, G., I. Alsina, and L. Dubova. 2012. The effect of colour plastic films on the growth, yield and plant pigment content of tomatoes. *Acta Horticulturae* 952: 217-224.
- González, M. H., N. A. Rodríguez-Muñoz, J. Escobedo-Bretado, y I. Martín- Domínguez. 2017. Diseño y simulación de un invernadero asistido con energía renovable para Durango. *Innovación sistemática* 1(1): 33-45.
- Gruda, N., and J.Tanny. 2014. Protected Crops. In Dixon G., and D. Aldous (eds). *Horticulture: Plants for People and Places*. Springer. Dordrecht. pp: 327-405.
- He, A.N., C. W. She, X. J. Wu, S. H. Li, and M. C. Zeng. 2017. Effect of light quality on photosynthesis and contents of active ingredients saxifraga stolonifera curt. *Pakistan journal of botany* 49(6): 2181-2187.
- Hemming, S., E. A. Van-Os, J. Hemming, and J. A. Dieleman. 2006. The Effect of New Developed Fluorescent Greenhouse Films on the Growth of *Fragaria x ananassa* 'Elsanta'. *European Journal of Horticultural Science* 71(4): 145-154.
- Holcman, E., P. C. Sentelhas, and S. C. Mello. (2017). Cherry Tomato yield in greenhouses with different plastic covers. *Ciencia Rural* 47(10): 1-9.
- Holcman, E., y P. C. Sentelhas. 2012. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16(8): 858-863.
- HortiCultivos. 2017. La producción de tomate en México y en Estados Unidos. Fecha de consulta: septiembre 2020. Recuperado de <https://www.horticultivos.com/cultivos/tomate/la-produccion-tomate-mexico-estados-unidos/>.
- Howard, R. M. 2001. *Cultivos hidropónicos*. 5a ed. Mundi-Prensa, Madrid. 558p.
- Inafed. 2018. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Fecha de consulta: septiembre 2019. Recuperado de

<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM24sanluispotosi/municipios/municipios.html>.

- Inverurop. 2020. Controlling the climate. Tipos de cubiertas para invernadero. Fecha de consulta agosto 2020. Recuperado de <https://inveurop.com/es/tipos-de-cubiertas-para-invernaderos/>.
- Joon-Kook, K. P. Kyoung-Sub, C. Hyo-Gil, L. Sun-Yi, K. Bekhzod, H. Mi-Ran and K. Nam-Jun. 2013. Growth and Developmental Characteristics of Lettuce, Tomato and Melon Grown under Spectrum Conversion Greenhouse Films. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(1):57-63.
- Joon-Kook, K., P. Kyoung-Sub, C. Hyo-Gil, L. Sun-Yi, K. Bekhzod, H. Mi.Ran, and K. Nam-Jun. 2013. Growth and Developmental Characteristics of Lettuce, Tomato and Melon Grown under Spectrum Conversion Greenhouse Films. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(1): 57-63.
- Laiton-P, G. A., P. J. Almanza-Merchán, H. E. Balaguera-López. 2012. Producción y calidad postcosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) larga vida sometido a la aplicación.
- Lopez-Porfirio, J., R. Bugarin-Montoya, R. Castro-Brindis, A. Sanchez-Monteon, E. Cruz-Crespo, C. Juarez-Rosete, G. Alejo, & R. Balois-Morales. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista FUENTE* 3:21-27.
- Maldonado-Peralta, R., P. Ramírez-Vallejo, V. A. González-Hernández, F. Castillo-González, M. Sandoval-Villa, M. Livera-Muñoz, and N. Cruz-Huerta. 2016. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* l.) nativos. *Agroproductividad* 9(12): 68-75.
- Marlow, D. 2013. Hortalizas. Características importantes de cubiertas para invernadero. Fecha de consulta agosto 2020. Recuperado de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/caracteristicas-importantes-de-cubiertas-para-invernadero/>.
- Mascarini, L., G. A. Lorenzo, y M. L. Burgos. 2012. Fotocontrol de la productividad y elongación de tallos de tres cultivares de Rosa x hybrida L. Bajo cubiertas de polietileno fotoselectivas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 45(1): 11-25.
- Mota, C. S., C. V. T. Amarante, H. P. Dos-Santos, and J. A. Albuquerque. 2009. Disponibilidade hídrica, radiação solar e fotossíntese em videiras 'cabernet sauvignon' sob cultivo protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31(2):432-439.
- Novagric 2016. Plastics for Green houses. Novedades Agrícolas. Fecha de consulta: noviembre 2019. Recuperado de <https://www.novagric.com/en/greenhouses-apr/greenhouses-supplies/plastic-greenhouses>.

- Oliveira, G. C., W. L. Vieira, S.C. Bertolli, and A. C. Pacheco. 2016. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean journal of agricultural research* 76(1):123-128.
- Ombodi, A., P. Zoltán, P. Szuvandzsiev, Z. T. Taskovics, A. Koházi-Kis, A. Kovács, H. Ledóné-Darázsi, and L. Helyes. 2015. Effects of external coloured shade nets on sweet peppers cultivated in walk in plastic tunnels. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43(2):398-403.
- Ponce, P. 2013. Hortalizas. Cualidades de una cubierta excelente para invernaderos. Fecha de consulta agosto 2020. Recuperado de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/cualidades-de-una-cubierta-excelente-para-invernaderos/>.
- Ramos-López, B. I., G. A. Martínez-Gutiérrez, I. Morales, C. Escamirosa-Tinoco y A. Pérez-Herrera. 2017. Consumo de agua y rendimiento de tomate de cáscara bajo diferentes cubiertas de invernaderos. *Horticultura Brasileira* 35: 265-270.
- Rizo, E. 2015. Distintos tipos de cubiertas para invernaderos. Hortalizas. Fecha de consulta: octubre 2019. Recuperado de <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/protegete/>.
- Romero-Gamez, M., E. M. Suárez-Rey, N. Castilla, and T. Soriano. 2012. Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(2):306-313.
- Saleh, S. M., M. A. Medany, U. A. El-Behiry, and A. F. Abu-Hadid. 2003. Effect of Polyethylene Colour on the Growth and Production of Cucumber (*Cucumis sativus*) Under Greenhouses during Autumn Season. *Acta Horticulturae* 608: 259-265
- Samaniego-Cruz, E., M. R. Quezada-Martin, M. De la rosa-Ibarra, J. Munguía-López, A. Benavides-Mendoza, y L. Ibarra-Jiménez. 2002. Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. *Agrociencia* 36: 305-318.
- Schettini, E., F. R. De Salvador, G. Scarascia-Mugnozza, and G. Vox. 2011. Radiometric properties of photoselective and photoluminescent greenhouse plastic films and their effects on peach and cherry tree growth. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86(1): 79-83.
- SIAP 2017. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Fecha de consulta: 8 de noviembre 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/tomate-rojo-o-jitomate-como-lo-llaman-donde-radicas>.
- Sistemashortícolas. 2019. Sistemas hortícolas de almería. ¿Cuál es el mejor plástico para invernadero?. Fecha de consulta Consulta: agosto, 2020. Recuperado de <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/mejor-plastico-para-invernadero/>.

- Soto-Bravo, F. 2018. Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero. *Agronomía Costarricense* 42(2):59-73.
- Statista. 2020. Volumen de tomates frescos producidos al año en el mundo en 2012 y 2019. Fecha de consulta abril 2020. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/529413/produccion-de-tomates-frescos-en-el-mundo/>.
- Su, N., Q. Wu, Z. Shen, K. Xia, and J. Cui. 2014. Effects of light quality on the chloroplastic ultrastructure and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. *Plant Growth Regulation* 73(3):227-235.
- TecnoAgro. 2020. Avances tecnológicos y agrícolas. Agricultura protegida en Mexico. Fecha de consulta abril 2020. Recuperado de <https://tecnoagro.com.mx/no-134/agricultura-protegida-en-mexico>
- The Greenhouse Catalog. 2020. Understanding light from a plant perspective. The greenhouse catalog. Fecha de consulta: enero 2020. Recuperado de <https://www.greenhousecatalog.com/greenhouse-light>.
- TradeMap. 2019. Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales. Fecha de consulta: agosto 2019. Recuperado de <https://www.trademap.org/Index.aspx>.
- Infoagro. 2013. El cultivo de tomate. Fecha de consulta agosto 2019. Recuperado de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i.