

# LA CUBIERTA PLÁSTICA Y SU RELACIÓN CON LA RADIACIÓN, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN CULTIVO DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.)

## COLORED PLASTIC COVERS AND ITS RELATIONSHIP WITH RADIATION, GROWTH AND YIELD OF A SWEET YELLOW PEPPER (*Capsicum annuum* L.) CROP

Alejandro Zermeño-González<sup>1\*</sup>, Gloria L. Claveria-Cigarrero<sup>1</sup>, Aaron I. Melendres-Alvarez<sup>1</sup>, Homero Ramírez-Rodríguez<sup>2</sup>, Juan P. Munguía-López<sup>3</sup>, Santos G. Campos-Magaña<sup>4</sup>, Martín Cadena-Zapata<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Riego y Drenaje, <sup>2</sup>Horticultura, y <sup>4</sup>Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP 25315. (azermenog@hotmail.com). <sup>3</sup>Departamento de Agroplásticos, CIQA, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25294.

### RESUMEN

El color de la cubierta de los túneles o invernaderos puede modificar las características espectrales de la radiación solar y afectar el desarrollo y rendimiento de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del color de la cubierta de un túnel en la magnitud y característica de la radiación, sobre un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) y su relación con contenido de clorofila, crecimiento y rendimiento del cultivo. El estudio se realizó en cuatro túneles con cubiertas de: policarbonato rojo, azul, translúcido y polietileno difuso de alta densidad. Las propiedades espectrales de la radiación bajo cada cubierta se determinaron con un espectro radiómetro. El efecto de la radiación en el crecimiento y rendimiento de las plantas se evaluó con un diseño completamente al azar con submuestras en cinco tratamientos (cubiertas de los túneles y campo abierto), tres repeticiones y tres muestras (plantas) por repetición. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). La radiación fotosintéticamente activa (PAR) que se transmitió en cada cubierta, durante el ciclo de crecimiento del cultivo fue 79.22, 53.40, 49.52 y 23.35% para el policarbonato translúcido, polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul y policarbonato rojo respectivamente. La transmisividad de 400 a 550 nm de longitud de onda del policarbonato rojo fue casi nula. Por lo tanto, las plantas bajo esta cubierta tuvieron altura de planta y área foliar mayores, pero con rendimiento menor de frutos. El rendimiento mayor de frutos se obtuvo con el polietileno difuso de alta densidad, por mayor difusividad y penetración de PAR en el follaje de las plantas.

### ABSTRACT

The roof color of tunnels and greenhouses can modify the spectral characteristics of solar radiation and affect the development and performance of plants. The objective in this study was to evaluate the effect of the color cover of a tunnel on the magnitude and characteristics of radiation on a sweet pepper culture (*Capsicum annuum* L.) and its relationship with chlorophyll content, growth and yield. This study was carried out in four tunnels covered with red, blue, and translucent polycarbonate and high-density diffuse polyethylene. The spectral properties of the radiation under each cover were determined with a spectroradiometer. The radiation effects on the growth and yield of plants were evaluated in a completely random design with sub-sampling in five treatments (covered tunnels and open field), three repetitions and three samples (plants) per replicate. The Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) was used for means comparison. The photosynthetically active radiation (PAR) transmitted under each cover during the crop's growth cycle was of 79.22, 53.40, 49.52 and 23.35% for the translucent polycarbonate, high density diffused polyethylene, blue polycarbonate and red polycarbonate, respectively. The transmissivity wavelength ranging from 400 to 550 nm in the red polycarbonate was almost null. Therefore, plants under the red cover had a greater plant height and leaf area, but lower fruit yield. The highest fruit yield was under the high-density diffused polyethylene, due to its greater diffusivity and PAR penetration in the plants foliage.

**Keywords:** Radiation, transmissivity, polycarbonate, polyethylene, *Capsicum annuum* L.

### INTRODUCTION

Plastic films allow the conversion of desert areas with low productivity into modern agricultural developments and this has driven economic

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2018. Aprobado: julio, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 709-723. 2019.

**Palabras clave:** radiación, transmisividad, policarbonato, polietileno, *Capsicum annuum* L.

## INTRODUCCIÓN

Las películas plásticas permiten la conversión de zonas desérticas de baja productividad en desarrollos agrícolas modernos y esto ha impulsado el crecimiento económico de estas regiones (Samaniego-Cruz *et al.*, 2002; Espí *et al.*, 2006). Los plásticos como cubiertas para invernaderos y túneles permiten establecer cultivos cuando las condiciones en campo son desfavorables. Esto favorece rendimientos mayores y calidad del producto cosechado (Orden *et al.*, 2000). Dentro de los invernaderos o túneles la intensidad de la luz, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura y déficit de presión de vapor del aire son diferentes al ambiente externo (Samaniego-Cruz *et al.*, 2002; Cook y Calvin, 2005; Gruda, 2005).

La luz solar suministra energía fundamental para los organismos fotosintéticos, y su intensidad y longitud de onda afectan el metabolismo de las plantas. La luz roja y azul son más aptas para el metabolismo fotosintético (Folta y Maruhnich, 2007; Darko *et al.*, 2014). La mayor parte de la energía luminosa que impulsa la fotosíntesis en las plantas activa sitios de recolección de los fotosistemas, que contienen clorofila a y b, en las membranas del tilacoide (Eggink y Hooper, 2000). La fotosíntesis en las plantas se desarrolla con el intervalo de 400 a 700 nm y se define como radiación fotosintéticamente activa (PAR). La cantidad y calidad de la luz incidente afecta la morfología de las plantas. Con intensidad baja aumenta la elongación de tallos y la expansión de las hojas y con luz abundante las plantas son compactas (Runkle y Heins, 2001; Cope y Bugbee, 2013).

Li y Syvertsen (2006) observaron que la naranja cv. Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), el híbrido de toronja espinuda (*Carr, C. Sinensis* × *Poncirus trifoliata* L. Raf) y plántulas de mandarina del cv. Cleopatra (*Cleo, Citrus reticulata* Blanco) bajo malla sombra color azul tuvieron contenido mayor de clorofila y fue menor en las que crecieron bajo la malla roja. He *et al.* (2017) observaron desarrollo mayor de brotes de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) que crecieron con luz roja, pero el contenido de clorofila de las hojas fue igual al de las plantas con luz azul. En plántulas de pepino, aquellas bajo luz azul tuvieron contenido de clorofila, tasa fotosintética neta y

growth in these regions (Samaniego-Cruz *et al.*, 2002; Espí *et al.*, 2006). Plastics as covers for greenhouses and tunnels allow establishing crops when field conditions are unfavorable. This favors higher yield and quality of harvested products (Orden *et al.*, 2000). Within tunnels or greenhouses light intensity, CO<sub>2</sub> concentration, temperature and air vapor pressure deficit are different from the external environment (Samaniego-Cruz *et al.*, 2002; Cook and Calvin, 2005; Gruda, 2005).

Sunlight provides the fundamental energy for photosynthetic organisms, and its intensity and wavelength affect plants metabolism. Red and blue light are more suitable for photosynthetic metabolism (Folta and Maruhnich, 2007; Darko *et al.*, 2014). Most of the energy light that drives photosynthesis in plants activates collection sites in the photosystems, in the thylakoid membranes, which contain chlorophyll a and b (Eggink and Hooper, 2000). The plant's photosynthesis develops within the 400 to 700 nm interval and is defined as photosynthetically active radiation (PAR). The quantity and quality of light incidence affect the plant's morphology. With low intensity, stems elongation and leaves expansion increases, with abundant light the plants are compact (Runkle and Heins, 2001; Cope and Bugbee, 2013).

Li and Syvertsen (2006) observed that orange cv. Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), a hybrid of spiked grapefruit (*Carr, C. sinensis* × *Poncirus trifoliata* L. Raf) and cv. Cleopatra mandarin orange seedlings (*Cleo, Citrus reticulata* Blanco) under a blue shade mesh had higher chlorophyll content and lower in those that grew under a red mesh. He *et al.* (2017) observed greater development of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant shoots growing under red light, but chlorophyll content in the leaves was equal to that of plants under blue light. In cucumber seedlings, those under blue light had greater chlorophyll content, net photosynthetic rate and stomatal conductance, compared to seedlings under red light (Hernández and Kubota, 2016).

Chillies and sweet peppers add value to agricultural production because they generate competitive income for the growers. There are about 12 thousand producers of this crop, which generate 30 million wages a year with social impact. The export of chili and sweet peppers ranks fifth, among the top 20 products sold by Mexico abroad (SAGARPA, 2015). The value of chilli and sweet peppers exports reached between

conductancia estomática mayor, con respecto a las plántulas con luz roja (Hernández y Kubota, 2016).

Los chiles y pimientos aportan valor a la producción agrícola, ya que generan ingresos competitivos para los productores. Existen cerca de 12 mil productores de ese cultivo que generan 30 millones de jornales al año con impacto social. La exportación de los chiles y pimientos ocupa el quinto lugar, entre los 20 principales productos que comercializa México al exterior (SAGARPA, 2015). El valor de las exportaciones de chiles y pimientos alcanzó entre enero y agosto de 2016 un aumento anual de 31.6%, que es uno de los crecimientos más destacados de este grupo (Caro-Encalada *et al.*, 2014).

La tasa de fotosíntesis y el desarrollo de las plantas están relacionados con la intensidad y características de la radiación en el dosel de las plantas. La intensidad y propiedades espectrales de la radiación de un túnel o invernadero afectan, en dependencia del color de la cubierta plástica, el crecimiento y rendimiento de las plantas en su interior. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del color de la cubierta de un túnel en la magnitud y característica de la radiación que incide en un cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) y su relación con el crecimiento y rendimiento del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del sitio de estudio y características de los túneles

El estudio se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2016, en el rancho Las varas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León (26° 30' 3" N, 100° 8' 36" O y altitud de 292 m). La temperatura media anual es 28 °C, los vientos dominantes son del noreste y el este, y la precipitación promedio anual es 700 mm. El clima de la región es seco estepario (INAFED, 2016).

Para el estudio se establecieron cuatro túneles de forma ovalada de 4 m de ancho, 2.5 m de alto y 12 m de longitud, con separación de 6 m entre túneles y orientación norte-sur, con la puerta de entrada en el lado sur. La cubierta de tres de estos túneles fue de láminas de policarbonato celular de color rojo, azul y translúcido. Estas láminas protegen contra la radiación ultravioleta, su espesor fue 6 mm. El otro túnel se cubrió con polietileno difuso de alta densidad (0.94 g cm<sup>-3</sup>).

El policarbonato es un polímero termoplástico con resistencia al impacto y ligera flexibilidad. La presentación de este material es en láminas alveolares, que consisten de dos o tres paredes

January and August 2016 an annual increase of 31.6%, which is one of the most outstanding growths of this group (Caro-Encalada *et al.*, 2014).

Photosynthetic rate and plants development relate to the intensity and characteristics of radiation in the plant's canopy. The intensity and spectral properties of the radiation of a tunnel or greenhouse affects, depending on the color of the plastic cover, the growth and yield of the plants within it. The objective in this study was to evaluate the effect of the color of the roof of a tunnel greenhouse on the magnitude and characteristic of the radiation that affects pepper crop (*Capsicum annuum* L.) and its relation with the growth and crop yield.

## MATERIALS AND METHODS

### Location of the study site and greenhouse tunnels characteristics

The study was carried out during the 2016 spring-summer growing cycle at "Las varas" ranch, municipality of Sabinas Hidalgo, Nuevo León state, Mexico (26° 30' 3" N, 100° 8' 36" W and 292 m altitude). The mean annual temperature at the site is 28 °C; prevailing winds are from the northeast and the east, and mean annual rainfall of 700 mm. The climate in the region is dry steppe (INAFED, 2016).

Four oval-shaped tunnels, 4 m wide, 2.5 m high and 12 m long, were established for the study, with a 6 m separation between tunnels and north-south orientation, with entrance door on the south side. Three of these tunnels had a red, blue and translucent colored cellular polycarbonate sheets cover. These sheets act as protection against ultraviolet radiation, its thickness was 6 mm. The other tunnel was covered with high-density diffuse polyethylene (0.94 g cm<sup>-3</sup>).

Polycarbonate is a thermoplastic polymer, impact resistant and slightly flexible. This material is available in alveolar sheets presentation, consisting of two or three parallel walls transversely joined by walls of the same material. Plates can be 4 to 16 mm thick. The air space in the alveoli provides a thermal insulation property and reduces nocturnal cooling. Polyethylene is a flexible plastic used in horticultural crops production, It is opaque with 80% diffusivity. The 620 caliber (155 μm thick) with ultraviolet radiation filtration was used in this study.

### Crop establishment

For the study, a crop of sweet pepper, California-type, lemon-yellow color in ripening was used. It is a plant with long

paralelas unidas transversalmente por paredes del mismo material. Las placas pueden ser de 4 a 16 mm de espesor. El espacio de aire en los alvéolos le proporciona la propiedad de aislante térmico y reduce el enfriamiento nocturno. El polietileno es un plástico flexible utilizado en la producción de cultivos hortícolas, y es opaco con difusividad de 80%. El calibre 620 (155  $\mu\text{m}$  de espesor) con filtración de radiación ultravioleta se usó en este estudio.

### Establecimiento del cultivo

Para el estudio se utilizó un cultivo de pimiento morrón híbrido consuel tipo California, color amarillo-limón en maduración. Es una planta de entrenudos largos, que conserva su color a pesar de alta luminosidad y calor. El ciclo del cultivo es de 120 d.

Las plántulas se produjeron de semillas, en charolas de poliestireno, con 200 cavidades y desinfectadas, con musgo de turbera como sustrato, en invernadero. El trasplante se realizó seis semanas después de la siembra (29 de abril de 2016), cuando las plántulas tuvieron 15 cm de altura y dos hojas verdaderas. En cada túnel se establecieron dos camas de 70 cm de anchura, separadas 1.2 m. El trasplante fue en tres hileras, una al centro y dos laterales sobre la cama a una distancia de 30 cm entre plantas y 20 cm entre hileras.

### Manejo agronómico del cultivo

Las plantas se podaron y mantuvieron con tres tallos para homogenizarlas y se usaron espalderas. Los frutos dañados y deformados se eliminaron para obtener producción uniforme y mejorar el rendimiento. El riego fue con goteo, con dos cintas por cama, con emisores a 30 cm y gasto de 2.4 LPH/emisor, aplicaciones diarias de 15 min, que correspondió a una lámina diaria promedio de 5.7 mm. Durante el ciclo del cultivo, las plantas de todos los túneles se fertilizaron con 1.43 kg de N, 0.535 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 1.93 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ , distribuidos en aplicaciones cada 15 d. Como acción preventiva para controlar la incidencia de hongos se aplicó sulfato de cobre pentahidratado (1.5 L  $\text{ha}^{-1}$ ) 15 y 45 d después de trasplante.

Para el control fitosanitario se aplicaron dosis de 400 g  $\text{ha}^{-1}$  de metomilo y dos de tiametoxam+clorantraniliprol a 500 mL  $\text{ha}^{-1}$  cada 15 días para el control de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius).

### Instrumentación y mediciones

Las características de la radiación solar, en la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que incidió y se transmitió en cada cubierta, se obtuvieron en condiciones de cielo

internodos, which retains its color despite high luminosity and heat. Its growing cycle is of 120 d.

The seedlings were produced from seeds, in disinfected 200 cavities polystyrene trays, in peat moss substrate, in a greenhouse. Their transplant took place six weeks after sowing (April 29, 2016), when the seedlings were 15 cm tall and had two true leaves. In each tunnel, two 70 cm wide beds, separated 1.2 m, were established. The transplant was in three rows, one in the center and two laterals on each bed with a 30 cm distance between plants and 20 cm between rows.

### Crop growth

To homogenize the plants, these were pruned and maintained with three stems, and trellises were used. Damaged and deformed fruits were eliminated to obtain uniform production and improved yield. The plants were drip irrigated, two tapes per bed, with emitters at 30 cm and 2.4 LPH/emitter, and 15 min daily applications, which corresponded to an average irrigation depth of 5.7 mm. During the crop growing cycle, the plants in all the tunnels were fertilized with 1.43 kg N, 0.535 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  and 1.93 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , distributed in 15-day applications. As preventive action to control fungi incidence, copper sulphate pentahydrate (1.5 L  $\text{ha}^{-1}$ ) was applied 15 and 45 d after transplant.

For phytosanitary control, 400 g  $\text{ha}^{-1}$  doses of methomyl and two of thiamethoxam+clorantraniliprol were applied at 500 mL  $\text{ha}^{-1}$  every 15 d for whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) control.

### Measurements and instrumentation

The characteristics of the solar radiation, in the photosynthetically active radiation (PAR) wavelength that impacted and was transmitted on each cover were assessed under clear sky conditions, between 13:00 and 14:00 h, with a spectroradiometer (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, USA) over and under the sheets.

A quantum sensor (Apogee Inst., Logan, Utah, USA) installed at the center of each tunnel on a fixed post at 70 cm above ground surface measured the photosynthetically active radiation (PAR) transmitted on each plastic cover. The same measurements were made outside the tunnels. The sensors were connected to two CR1000 dataloggers (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA). Measurements were taken every second and continuous 30 min averages were generated during the cultivation cycle (April 30 to September 30, 2016).

The relative chlorophyll content in the leaves was assessed with a portable meter (SPAD 502 Plus, Konica Minolta Optics, Inc., Japan), every 15 d, between 12:00 and 14:00 h, on three young leaves of the middle section of nine plants at the center

despejado, entre las 13:00 y las 14:00 h, con un espectro radiómetro (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, USA) sobre y bajo las cubiertas.

Un sensor quantum (Apogee Inst., Logan, Utah, USA) instalado al centro de cada túnel, sobre un poste fijo a 70 cm sobre la superficie del suelo midió la radiación fotosintéticamente activa (PAR) transmitida en cada cubierta. Fuera de los túneles se realizaron las mismas mediciones. Los sensores se conectaron a dos datalogger CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA). Las mediciones se realizaron cada segundo y se generaron promedios continuos de 30 min, durante el ciclo de cultivo (30 de abril al 30 de septiembre, 2016).

El contenido relativo de clorofila de las hojas se midió con un medidor portátil (SPAD 502 Plus, Konica Minolta Optics, Inc., Japón), cada 15 d, entre las 12:00 y 14:00 h, en tres hojas jóvenes de la sección media de nueve plantas del centro de cada túnel. En las mismas plantas se midió simultáneamente la altura de la planta y el área promedio de hojas. Esta última fue el resultado de multiplicar la longitud, por la anchura mayor de tres hojas por planta, por el factor 0.554 ( $r^2=0.973$ ). Para obtener el factor se usó un medidor digital de área y las dimensiones de las hojas. El área foliar se calculó multiplicando el área promedio de hojas por el número de hojas por planta. Durante la cosecha se realizaron seis cortes y se obtuvo el rendimiento total de frutos de cada túnel.

El contenido de clorofila, la altura de planta y el área foliar se evaluaron con un diseño estadístico completamente al azar con submuestreos, con cinco tratamientos (cuatro colores de cubiertas de los túneles y a campo abierto), tres repeticiones y tres muestreos por repetición. Para la comparación de medias de tratamientos se usó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades espectrales de las cubiertas

El policarbonato transparente mostró la transmitancia mayor del espectro PAR y fue aproximadamente uniforme en el intervalo de longitud de onda. El polietileno difuso de alta densidad presentó transmitancia de la PAR similar al policarbonato translúcido, pero con magnitud menor. El policarbonato azul mostró transmitancia alta entre 400 y 500 nm, ligeramente menor en 500 a 600 nm y mayor entre 600 y 700 nm. El policarbonato rojo no transmite radiación de 400 a 550 nm, y mostró gran transmitancia de 600 a 700 nm (Figura 1). La falta de transmitancia de la PAR de 400 a 500 nm de las láminas de policarbonato rojo impacta el desarrollo y

of each tunnel. In the same plants, the height and the average leaves area were simultaneously measured. The latter was the result of multiplying the length, by the greater width from three leaves per plant, times a 0.554 factor ( $r^2=0.973$ ). To obtain this factor, a digital area meter and the dimensions of the leaves were used. The leaf area was obtained by multiplying the mean area of the leaves by the number of leaves per plant. During harvest, six cuts were made and the total fruit yield of each tunnel was obtained.

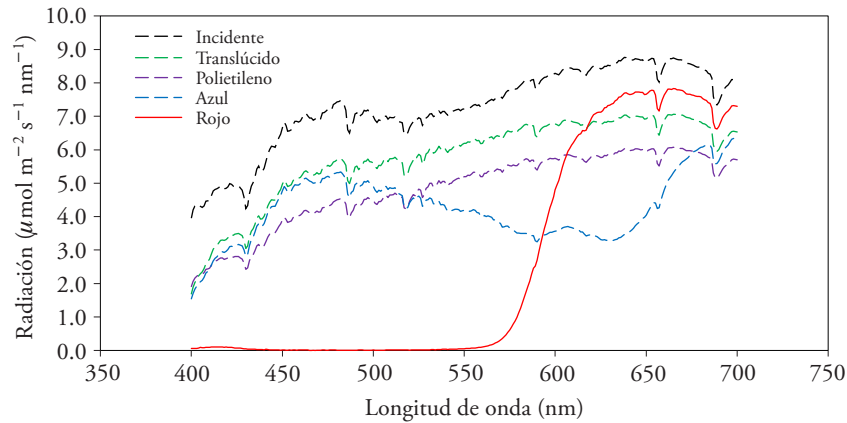
Chlorophyll content, plant height and leaf area were evaluated with a completely random statistical design with sub-sampling, with five treatments (four colors of tunnel covers and open field), three repetitions and three samples per repetition. For treatment means comparison the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Spectral properties of the plastic covers

Transparent polycarbonate showed the highest transmittance of the PAR spectrum and was approximately uniform in the wavelength range. High-density diffuse polyethylene presented a PAR transmittance similar to that of the translucent polycarbonate, but with smaller magnitude. The blue polycarbonate showed high transmittance between 400 and 500 nm, slightly lower in 500 to 600 nm and higher between 600 and 700 nm. The red polycarbonate does not transmit radiation from 400 to 550 nm, but showed great transmittance between 600 and 700 nm (Figure 1). The lack of transmittance of the PAR in the 400 to 500 nm interval of the red polycarbonate sheets affects the development and yield of the plants, since the lower limit of maximum absorption of the PAR for chlorophyll a and b in plants is between the 400 and 500 nm wavelength (Hogewoning *et al.*, 2012).

From  $2177.22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  of PAR that impacted on the plastic covers, 601.81 corresponded to the range of 400 to 500 nm and in the red polycarbonate only  $3.435 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (0.57%) were transmitted (Table 1). The PAR deficit in this interval can affect plants development and fruit yield. López-Marín *et al.* (2012) observed a significant decrease in the  $\text{CO}_2$  assimilation rate, stomatal conductance and transpiration in sweet pepper plants, due to the effect of 40% shade during summer. But, from 600 to 700 nm, the same plastic sheet transmitted  $718.10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  out of



**Figura 1.** Radiación fotosintéticamente activa, a diferentes longitudes de onda, incidente y transmitida a través de láminas de policarbonato de color rojo, azul, translúcido, y polietileno difuso de alta densidad, bajo cielo despejado y al medio día solar en el sitio de estudio.

**Figure 1.** Photosynthetically active radiation, at different wavelengths, incident and transmitted through polycarbonate sheets of red, blue, translucent, and high-density diffuse polyethylene, under clear skies conditions and at solar noon in the study site.

rendimiento de las plantas, ya que el límite inferior de máxima absorción de radiación PAR de la clorofila a y b en las plantas está entre 400 y 500 nm de longitud de onda (Hogewoning *et al.*, 2012).

De 2177.22  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de la PAR que incidió sobre las cubiertas, 601.81 correspondieron al intervalo de 400 a 500 nm y en el policarbonato rojo solo se transmitieron 3.435  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (0.57%) (Cuadro 1). El déficit de PAR en este intervalo puede afectar el desarrollo y rendimiento de las plantas. López-Marín *et al.* (2012) observaron decremento significativo en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomática y transpiración en plantas de pimiento morrón, por efecto de 40% de sombreado durante verano. Pero, de 600 a 700 nm la misma cubierta transmitió 718.10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de los 841.24 que inciden (85.36%) y fue la

the 841.24 that received (85.36%) and was the highest transmissivity of the four evaluated covers (Table 1). Out of the total transmitted by the red polycarbonate, 91% was between the 600 to 700 nm band and 0.44% from 400 to 500 nm (Table 2). The other covers had a uniform distribution percentage. In all, the highest transmissivity percentage was in the 600 to 700 nm band and the lowest in the 400 to 500 nm band (Table 2).

#### Photosynthetically active radiation incident and transmitted on the roofs of the tunnels

Plants that grew under the translucent polycarbonate cover received higher PAR. The plants under the blue polycarbonate and the high-density diffused polyethylene had approximately the

**Cuadro 1.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en tres intervalos de longitud de onda incidente y su transmisión a través de las diferentes cubiertas de los túneles ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

**Table 1.** Photosynthetically active radiation (PAR) in three incident wavelength intervals and its transmission through different covers of the tunnels ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

Longitud de onda (nm)	Incidente ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Policarbonato translúcido	Polietileno difuso	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
400 to 500	601.81	439.07	353.05	407.96	3.435
500 to 600	734.17	613.98	511.76	411.39	67.47
600 to 700	841.24	679.20	582.50	452.51	718.10
Total	2 177.22	1 732.25	1 447.31	1 271.86	789.01

transmisividad mayor de las cuatro cubiertas (Cuadro 1). Del total que transmitió el policarbonato rojo, 91% fue de la banda de 600 a 700 nm y 0.44% de 400 a 500 nm (Cuadro 2). Las otras cubiertas tuvieron porcentaje de distribución uniforme. En todas, el porcentaje mayor de transmisividad ocurrió en la banda de 600 a 700 nm y el menor en la de 400 a 500 nm (Cuadro 2).

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

Las plantas que crecieron bajo la cubierta de policarbonato translúcido recibieron mayor PAR. Las plantas bajo el policarbonato azul y el polietileno difuso de alta densidad tuvieron aproximadamente la misma incidencia de PAR y las plantas bajo el policarbonato rojo recibieron radiación menor (Figura 2). Estas diferencias en PAR recibida por las plantas en los túneles pueden afectar el desarrollo y rendimiento de las plantas. Además, la ausencia de o baja incidencia de radiación PAR en la longitud de onda de 400 a 500 nm y de 500 a 600 nm bajo el policarbonato rojo (Cuadro 2) también impactará el desarrollo y rendimiento de las plantas.

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas en el túnel con cubierta de policarbonato translúcido también recibieron la cantidad mayor de PAR; las plantas bajo la cubierta de policarbonato azul y de polietileno difuso recibieron PAR aproximadamente similar; en el policarbonato rojo la PAR que se transmitió fue menor (Cuadro 3). El promedio diario de PAR transmitida por cada cubierta, durante el ciclo de crecimiento del cultivo, fue 79.22, 53.40, 49.52 y 23.35% con el policarbonato translúcido, polietileno difuso de alta densidad, policarbonato azul y policarbonato rojo. Ilić *et al.*

same PAR incidence and the plants under the red polycarbonate received lower radiation (Figure 2). These differences in the PAR received by the plants in the tunnels can affect their growth and yield. In addition, the absence of or low incidence of PAR at the 400 to 500 nm wavelength and 500 to 600 nm under the red polycarbonate (Table 2) also affects the plant's growth and yield.

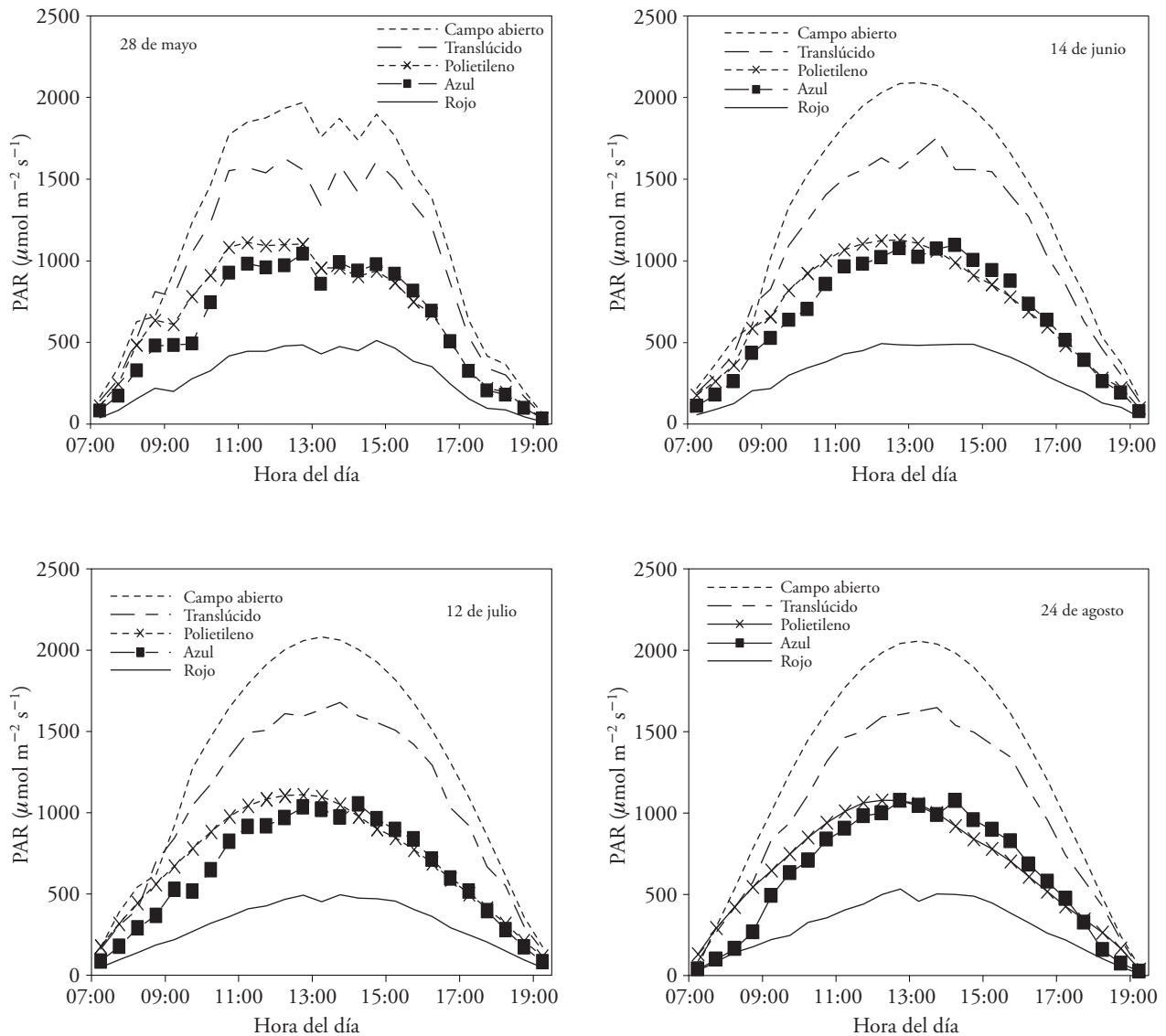
During the crop's growth cycle, the plants in the tunnel with translucent polycarbonate cover also received the highest amount of PAR; plants under the blue polycarbonate cover and the diffuse polyethylene received approximately similar PAR; in the red polycarbonate, the transmitted PAR was lower (Table 3). The daily average PAR transmitted by each cover during the growth cycle was 79.22, 53.40, 49.52 and 23.35% with translucent polycarbonate, high-density diffuse polyethylene, blue polycarbonate and red polycarbonate respectively. Ilić *et al.* (2017) showed that a blue and red shadow mesh transmitted 46.5 and 42.1% respectively of the PAR incidence. The values here reported were different from those of that study because the spectral properties of the polycarbonate sheets are different from those of the shadow mesh. Jin *et al.* (2012) reported that the PAR transmissivity of a translucent polyethylene film was greater (83%) than that of yellow (77%), red (75%) and blue (49%) polyethylene.

The PAR received by plants under the different colored materials, mainly the red polycarbonate, may affect the development rate and their yield. The distribution of the visible spectrum radiation influences the growth and development of plants and consequently the production (Runkle and Heins, 2006). Sweet pepper plants (*cv.* Guardian) developed under a green, red, blue, beige and black shade mesh were up to 33% higher than field conditions without

**Cuadro 2.** Distribución porcentual (con relación al total) de la PAR que incide y que se transmite a través de cubiertas de policarbonato y polietileno.

**Table 2.** Percentage distribution (in relation to the total) of incident PAR transmitted through polycarbonate and polyethylene covers.

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



**Figura 2.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR) recibida y transmitida por cubiertas de policarbonato translúcido azul y rojo y polietileno difuso de alta densidad, entre las 7 y 19:00 h, un día despejado, durante el crecimiento del cultivo de pimienta morrón híbrido consuelo tipo California.

**Figure 2.** Photosynthetically active radiation (PAR) received and transmitted by translucent, blue and red polycarbonate covers and high density diffuse polyethylene, between 07:00 and 19:00 h in clear day conditions, during the growth cycle of a California type sweet pepper consuelo hybrid culture.

*al.* (2017) mostraron que una malla sombra azul y una roja transmitieron 46.5 y 42.1% de la PAR incidente respectivamente. Los valores del presente estudio fueron diferentes a los de ese estudio, porque las propiedades espectrales de las láminas de policarbonato son distintos a las de la malla sombra. Jin *et al.* (2012) reportaron que la transmisividad a la PAR de una película de polietileno translúcido fue mayor (83%) a la del polietileno amarillo (77%), el rojo (75%) y azul (49%).

cover due to the difference in radiation incidence (Ayala-Tafuya *et al.*, 2015).

### Chlorophyll content in leaves

The radiation transmitted through the plastic covers affected the chlorophyll content of the leaves only at the beginning of their growth cycle; in the early development stages, the plants under red polycarbonate had less chlorophyll content than those

**Cuadro 3.** Promedio diario mensual ( $\text{mol m}^{-2}$ ) de la radiación fotosintéticamente activa incidente (en campo) y bajo cubiertas de polietileno y policarbonato (valores integrados de las 7:00 a las 19:00 h), en los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de pimiento morrón.

**Table 3.** Monthly day average ( $\text{mol m}^{-2}$ ) of photosynthetically active radiation (in the field) incident and under polyethylene and polycarbonate covers (integrated values from 7:00 to 19:00 h.), during the months of the sweet pepper crop growth cycle.

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

La PAR recibida por las plantas bajo los materiales de colores diferentes, principalmente el policarbonato rojo, puede afectar la tasa de desarrollo y el rendimiento de las plantas. La distribución de la radiación del espectro visible, influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas y, por consecuencia, en la producción (Runkle y Heins, 2006). Plantas de pimiento morrón (cv. Guardian) desarrolladas bajo malla sombra de colores verde, rojo, azul, beige y negro fueron hasta 33% más altas que en condiciones de campo, sin cubierta, debido a la diferencia de incidencia de radiación (Ayala-Tafoya *et al.*, 2015).

### Contenido de clorofila en las hojas

La radiación transmitida a través de las cubiertas plásticas afectó el contenido de clorofila de las hojas solo al inicio del ciclo de crecimiento; en las primeras etapas de desarrollo las plantas bajo el policarbonato rojo tuvieron contenido menor de clorofila, que aquellas bajo las otras cubiertas (Cuadro 4) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). En fechas posteriores no se detectaron diferencias.

Las plantas no expuestas directamente al sol reciben niveles bajos de luz; por lo tanto, contienen más clorofila que las expuestas directamente a la luz solar (Beneragama y Goto, 2011). Según Casierra-Posada *et al.*, (2014), en plantas de pimiento morrón, el contenido de clorofila bajo películas de polipropileno de color azul, verde y translúcido fue mayor que el observado en las plantas bajo películas de color amarillo, rojo y a campo abierto. Alam *et al.* (2007) reportaron que el contenido de clorofila de las hojas

under the other covers (Table 4) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). In later dates, no differences were detectable.

Plants not directly exposed to the sun receive low light levels. Therefore, they contain more chlorophyll than those directly exposed to sunlight (Beneragama and Goto, 2011). Casierra-Posada *et al.* (2014) observed that in sweet pepper plants the chlorophyll content under blue, green and translucent color polypropylene films was higher than that observed in plants under yellow, red and open field films. Alam *et al.* (2007) reported that the chlorophyll content in onion plant leaves (*Allium cepa* L.) growing under red filter paper sheets was higher than that observed in the plants under blue filter paper sheets, and this, in turn, was greater than that of plants in open field. In this study, the differences of incident radiation on the plants of the different evaluated covers had no effect on the relative chlorophyll content of the leaves throughout their growth cycle (Table 4). This was due to the fact that the spectral characteristics of the radiation transmitted in each cover (Figure 1) had no effect in the production of chlorophyll, because of the relatively high transmittance in the wavelength corresponding to the red color in the different plastic covers (Figure 1).

The leaves of plants that grow in less light intensity contain more chlorophyll than the leaves exposed to direct sunlight since additional chlorophyll is required to capture diffuse radiation for the production of the necessary carbohydrates for plant growth. Under these conditions, plants develop more foliar area (Ilić *et al.*, 2015). The results in this study coincide with this description, since at

**Cuadro 4.** Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de un cultivo de pimiento morrón híbrido cónsul tipo California, bajo túneles con diferente color y material de cubierta. Durante el ciclo de producción de 2016.

**Table 4.** Relative chlorophyll content (SPAD units) of a California-type hybrid sweet pepper crop, under greenhouse tunnels with different color and material covers. During the 2016 production cycle.

Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD)				
Tratamiento	29 jun.	14 jul.	12 ago.	30 sep.
Campo abierto	54.92 <sup>a</sup>	46.28 <sup>a</sup>	46.27 <sup>a</sup>	44.60 <sup>a</sup>
Policarbonato translúcido	54.07 <sup>ab</sup>	43.55 <sup>b</sup>	47.83 <sup>a</sup>	47.80 <sup>a</sup>
Polietileno difuso	53.22 <sup>ab</sup>	44.97 <sup>ab</sup>	45.92 <sup>a</sup>	48.30 <sup>a</sup>
Policarbonato azul	52.72 <sup>b</sup>	45.80 <sup>a</sup>	45.50 <sup>a</sup>	48.57 <sup>a</sup>
Policarbonato rojo	50.70 <sup>c</sup>	46.35 <sup>a</sup>	46.83 <sup>a</sup>	46.72 <sup>a</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ❖  
Means with different letter in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

de plantas de cebolla (*Allium cepa* L.) que crecieron bajo láminas de papel filtro de color rojo, fue mayor que el observado en las plantas bajo láminas de papel filtro azul, y éste a su vez fue mayor que el de las plantas a campo abierto. En este estudio, las diferencias en la radiación incidente sobre las plantas de los diferentes túneles, no tuvieron efecto en el contenido relativo de clorofila de las hojas a través del ciclo de crecimiento (Cuadro 4). Esto se debió a que las características espectrales de la radiación transmitida en cada cubierta (Figura 1) no tuvo efecto en la elaboración de la clorofila, debido a una transmitancia relativamente alta en la longitud de onda correspondiente al color rojo en las diferentes cubiertas (Figura 1).

Las hojas de las plantas que crecen con menos intensidad de luz, contienen más clorofila que las hojas expuestas directamente al sol, ya que se requiere clorofila adicional para la captura de radiación difusa, para la producción de carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta. Bajo estas condiciones, las plantas desarrollan más área foliar (Ilić *et al.*, 2015). Los resultados de este estudio coinciden con esta descripción, ya que al inicio del ciclo de crecimiento el contenido de clorofila de las hojas de las plantas bajo el túnel con policarbonato rojo fue menor (Cuadro 4) y desarrollaron más área foliar (Cuadro 6). Posada *et al.* (2014) observaron que el contenido de clorofila de las hojas de plantas de fresa (*Fragaria vesca* L.) creciendo bajo películas de polipropileno de color verde y rojo fue mayor al de las plantas que crecieron a campo abierto.

the beginning of the growth cycle, the chlorophyll content of the leaves of the plants in the tunnel with red polycarbonate was lower (Table 4) and developed more foliar area (Table 6). Posada *et al.* (2014) observed that the chlorophyll content in leaves of strawberry plants (*Fragaria vesca* L.) growing under green and red polypropylene films was higher than that in plants growing in open field.

### Plant height and foliar area

The amount and distribution of incident radiation had a significant effect on plant height. Throughout the crop's growth cycle, plants under the red polycarbonate cover tunnel received less amount of PAR during the day (Figure 2) and throughout the entire growth cycle (Table 3) were taller, while those that grew in open field and in the translucent polycarbonate tunnel, which received higher PAR, were smaller (Table 6) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). According to Fletcher *et al.* (2005) and Cope and Bugbee (2013), plants that develop in environments with radiation deficit develop greater stem elongation. Oren-Shamir *et al.* (2001) also observed that Chinese variegated orange blossom plants (*Pittosporum variegatum*) growing under a red shade mesh had greater elongation than plants that grew in open field and under a blue colored mesh.

The plants under red polycarbonate also developed greater leaf area, throughout their growth cycle, compared with the plants that grew in the tunnels

### Altura de planta y área foliar

La cantidad y distribución de radiación incidente tuvo un efecto significativo en la altura de plantas. A través del ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas bajo el túnel con cubierta de policarbonato rojo que recibieron menor cantidad de PAR durante el día (Figura 2) y a través del ciclo de crecimiento (Cuadro 3), fueron de mayor altura, mientras que las que crecieron a campo abierto y en el túnel de policarbonato translúcido recibieron mayor PAR y su porte fue menor (Cuadro 6) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Según Cope and Bugbee (2013) y Fletcher *et al.* (2005), las plantas que se desarrollan en un ambiente con déficit de radiación, alcanzan una mayor elongación del tallo. Oren-Shamir *et al.* (2001) también observaron que las plantas de azahar de la china variegado (*Pittosporum variegatum*), que crecieron bajo una malla sombra de color rojo, tuvieron mayor elongación que las plantas que crecieron a cielo abierto y bajo la malla de color azul.

Las plantas bajo el policarbonato de color rojo, también desarrollaron mayor área foliar a través del ciclo de crecimiento, comparado con el de las plantas que crecieron en los túneles con las otras cubiertas y bajo condiciones de campo abierto (Cuadro 7) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Estos resultados coinciden con las observaciones de Kittas *et al.* (2012), quienes indicaron que una reducción en la radiación solar recibida en las plantas estimula el crecimiento de las hojas. Además, Casierra-Posada *et al.* (2014) encontraron que las plantas de pimiento morrón cv Nathalie que crecieron bajo malla sombra de color verde y azul, desarrollaron mayor área foliar que las plantas a campo abierto. Similarmente, Ayala-Tafuya *et al.* (2015) observaron, en un cultivo de pimiento morrón cv. Guardián, un mayor desarrollo de área foliar en las plantas bajo mallas sombra de color verde y roja que en las plantas a campo abierto.

### Rendimiento de frutos

Debido a las diferencias de magnitud de PAR incidente sobre las plantas que crecieron a campo abierto y bajo los túneles de diferentes materiales y colores, el desarrollo y maduración de frutos fue muy desigual en las fechas de los cortes realizados. Por lo tanto, no fue posible realizar una evaluación estadística del rendimiento de frutos por corte, y solo se

with other covers and under open field conditions (Table 6) (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). These results coincide with observations by Kittas *et al.* (2012), who pointed out that a reduction in the solar radiation received by plants stimulates the leaves growth. Besides, Casierra-Posada *et al.* (2014) found that sweet pepper plants cv Nathalie that grew under green and blue shade mesh developed greater leaf area than plants in open field. Similarly, Ayala-Tafuya *et al.* (2015) observed, in a sweet pepper cv. Guardian crop, a greater foliar area development in plants under a green and red shaded meshes than that of plants in open field.

### Fruit yield

Due to the differences in the magnitude of PAR incident on the plants that grew on open field conditions and under greenhouse tunnels of different materials and colors, the development and maturation of fruits was uneven regard the dates of the cuts made. Therefore, it was not possible to perform a statistical evaluation of the yield of fruits per cut; thus, only the total yield of the five cuts made in each tunnel and in the open field is provided. The total yield of each tunnel was expressed in  $t\ ha^{-1}$ , considering 0.80 m distance between beds, and two 12 m beds per tunnel. The plants that grew in the tunnel with the high-density diffuse polyethylene cover had the highest fruit yield ( $68.46\ t\ ha^{-1}$ ) and those that grew under the red colored polycarbonate report the lowest yield ( $7.14\ t\ ha^{-1}$ ). The plants harvest in the translucent polycarbonate tunnels ( $40.70\ t\ ha^{-1}$ ) and blue cover ( $35.05\ t\ ha^{-1}$ ) was greater than that observed in the open field conditions ( $12.63\ t\ ha^{-1}$ ) (Figure 3).

The diffuse radiation that is generated inside the greenhouses favorably affects the crops and is directly related to higher yields than those obtained in field conditions (Kitta *et al.*, 2014.). Ilić *et al.* (2012) observed increases of up to 40% in a tomato crop grown under a shade mesh of different colors, compared to those obtained in open field.

The lower fruit yield of the plants under the red polycarbonate was due to lower PAR incidence during the day (Figure 2) and throughout the crop's growth cycle (Table 3), mainly in minimum radiation, between 400 and 500 nm and 500 and 600 nm (Tables 1 and 2). This resulted in plants of greater size (Table 5) and greater leaf area (Table 6),

presenta el total del rendimiento de los cinco cortes realizados en cada túnel y a campo abierto. El rendimiento total de cada túnel se expresó en  $t\ ha^{-1}$ , considerando 0.80 m de distancia entre camas, y dos camas de 12 m por túnel. Las plantas que crecieron en el túnel con la cubierta de polietileno difuso de alta densidad tuvieron el rendimiento mayor de frutos ( $68.46\ t\ ha^{-1}$ ) y las que crecieron bajo el policarbonato color rojo presentaron el rendimiento menor ( $7.14\ t\ ha^{-1}$ ). El rendimiento de las plantas en los túneles de policarbonato translúcido ( $40.70\ t\ ha^{-1}$ ) y azul ( $35.05\ t\ ha^{-1}$ ) fue mayor al observado en campo ( $12.63\ t\ ha^{-1}$ ) (Figura 3). La radiación difusa generada dentro de los invernaderos afecta favorablemente a los cultivos y tiene relación directa con rendimientos mayores que los obtenidos en condiciones de campo (Kitta *et al.*, 2014). Ilić *et al.* (2012) observaron incrementos de hasta 40% de un cultivo de tomate cultivado bajo malla sombra de colores diferentes en comparación con los obtenidos en campo.

El rendimiento menor de frutos en las plantas bajo el policarbonato rojo se debió a la incidencia menor de PAR durante el día (Figura 2) y a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Cuadro 3), y principalmente la radiación mínima entre 400 y 500 nm y 500 y 600 nm (Cuadros 1 y 2). Esto resultó en plantas de mayor porte (Cuadro 5) y mayor área foliar (Cuadro 6), pero limitó el desarrollo y crecimiento de los frutos (Figura 3). Lobos *et al.* (2013) también registraron retardo en la maduración de frutos de plantas de arándano rojo (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Elliott, debido a la reducción en PAR por malla sombra color rojo, respecto a lo observado en las

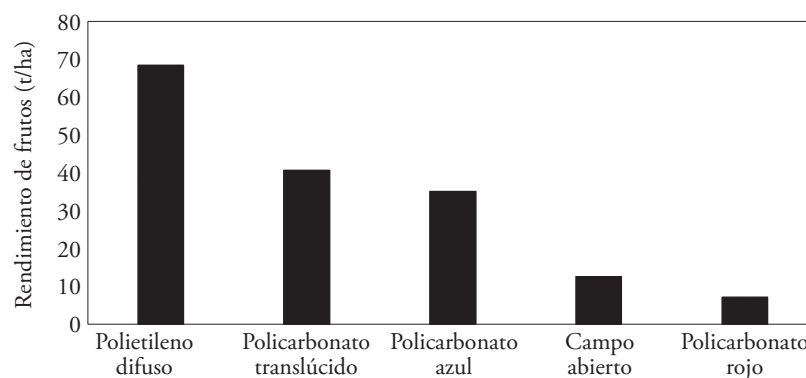
but limited fruits growth and development (Figure 3). Lobos *et al.* (2013) also recorded cranberry fruits (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Elliott delayed ripening due to a reduction in PAR by a color red shade mesh compared to plants that grew in open sky conditions. The production of chrysanthemum (*Morifolium ramat*) cv Chuj biomass was reduced by decreasing light intensity over the plants by varied colors polyethylene covers and under blue colored polyethylene (received less radiation intensity) and accumulated less biomass.

The higher yield of the plants in the high-density diffuse polyethylene cover tunnel was due to the PAR diffusivity of this material. This allowed better radiation distribution and penetration in all the plant's foliage strata and decreased the magnitude of the incident radiation. Singh *et al.* (2012) obtained higher yield in strawberry plants under tunnels with polyethylene cover ( $200\ \mu m$ ) compared to open field conditions and under 50 and 75% shading meshes.

## CONCLUSIONS

Translucent polycarbonate and high density diffusing polyethylene have a higher PAR transmissivity than blue and red colored polycarbonate. The null transmittance of PAR between 400 and 550 increases height and leaf area, but decreases fruit yield. With high-density diffuse polyethylene fruit yield increases.

—End of the English version—



**Figura 3.** Rendimiento de frutos ( $t\ ha^{-1}$ ) de un cultivo de pimiento morrón híbrido consúl tipo California, en túneles de policarbonato de colores variado y polietileno difuso de alta densidad.

**Figure 3.** Fruit yield ( $t\ ha^{-1}$ ) of a California-type consul hybrid sweet pepper crop under polycarbonate tunnels of varied colors and high-density diffuse polyethylene.

**Cuadro 5.** Desarrollo de la altura de plantas (cm) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

**Table 5.** Height development (cm) of sweet pepper plants, throughout the growth cycle under greenhouse tunnels of different materials and colors.

Tratamiento	Altura de plantas (cm)			
	29 jun. 2016	14 jul. 2016	12 ago. 2016	30 sept. 2016
Campo abierto	30.80 <sup>c</sup>	38.77 <sup>d</sup>	58.50 <sup>d</sup>	76.67 <sup>c</sup>
Policarbonato translúcido	54.60 <sup>d</sup>	65.80 <sup>c</sup>	88.67 <sup>c</sup>	114.17 <sup>b</sup>
Polietileno difuso	71.90 <sup>c</sup>	83.47 <sup>b</sup>	106.00 <sup>bc</sup>	123.50 <sup>b</sup>
Policarbonato azul	76.00 <sup>b</sup>	86.52 <sup>b</sup>	116.33 <sup>ab</sup>	128.00 <sup>b</sup>
Policarbonato rojo	87.20 <sup>a</sup>	102.22 <sup>a</sup>	132.50 <sup>a</sup>	177.33 <sup>a</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). ❖ Means with a different letter in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 6.** Desarrollo del área foliar de las plantas (cm<sup>2</sup>) de pimiento morrón, a través del ciclo de crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

**Table 6.** Leaf area development (cm<sup>2</sup>) of sweet pepper plants throughout the growth cycle under tunnels of different materials and colors.

Tratamiento	Área foliar (cm <sup>2</sup> )			
	10 jun.	14 jul.	12 ago.	30 sept.
Campo abierto	591.40 <sup>c</sup>	941.6 <sup>c</sup>	801.6 <sup>c</sup>	967.6 <sup>c</sup>
Policarbonato translúcido	1700.6 <sup>b</sup>	1245.0 <sup>bc</sup>	1286.2 <sup>bc</sup>	1469.0 <sup>b</sup>
Polietileno difuso	1779.6 <sup>ab</sup>	1568.2 <sup>b</sup>	1363.4 <sup>bc</sup>	1541.6 <sup>b</sup>
Policarbonato azul	2019.8 <sup>a</sup>	1539.2 <sup>b</sup>	1882.8 <sup>b</sup>	1898.4 <sup>ab</sup>
Policarbonato rojo	5076.6 <sup>a</sup>	2365.8 <sup>a</sup>	2902.0 <sup>a</sup>	2190.4 <sup>a</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ❖ Means with different letter in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

plantas que crecieron cielo abierto. La producción de biomasa de crisantemo (*Morifolio ramat*) cv Chuj se redujo con la disminución de la intensidad de la luz en las plantas por cubiertas de polietileno de colores variados, además bajo el polietileno de color azul (recibieron menor intensidad de radiación) y acumularon menos biomasa.

El rendimiento mayor de las plantas en el túnel con cubierta de polietileno difuso de alta densidad se debió a la difusividad de la PAR de este material. Esto permitió mejor distribución y penetración de la radiación en todos los estratos del follaje de las plantas y disminución de la magnitud de la radiación incidente. Singh *et al.* (2012) obtuvieron rendimiento mayor en fresa bajo túneles con cubierta de polietileno (200  $\mu\text{m}$ ) respecto al observado a cielo abierto y bajo malla con 50 y 75% de sombreo.

## CONCLUSIONES

El policarbonato translúcido y el polietileno difuso de alta densidad tienen transmisividad mayor a PAR que el policarbonato color azul y rojo. La transmitancia nula de PAR entre 400 y 550 incrementa altura y área foliar, pero disminuye el rendimiento de frutos. Con el polietileno difuso de alta densidad se incrementa el rendimiento de frutos.

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT y Alfa grupo Tecnológico S. A. de C. V. por el apoyo recibido para la realización del estudio, bajo el esquema del programa de estímulos a la innovación, y el apoyo de beca de uno de los autores. También se agradece al Ing. Abel Salas del rancho las enramadas por su participación en los trabajos de campo.

## LITERATURA CITADA

- Alam, M. N., M. S. Islam, M. K. Ali, M. A. Barkotulla, and S. M. Khandaker. 2007. Effect of light qualities on dry matter production, crop growth performance and chlorophyll content in onion plant. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 3: 871-875.
- Ayala-Tafoya, F., R. Sánchez-Madrid, L. Partida-Ruvalcaba, M. G. Yáñez-Juárez, F. H. Ruiz-Espinosa, T. D. J. Velázquez Alcaraz, y J. M. Parra-Delgado. 2015. Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Rev. Fitotec. Mex.* 38: 93-99.
- Beneragama, C. K., and K. Goto. 2011. Chlorophyll a: b ratio increases under low-light in 'Shade-tolerant' *Euglena gracilis*. *Trop. Agric. Res.* 22: 12-25.
- Caro-Encalada M., C. Leyva-Morales, y J. Ríos-Santana. 2014. Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Rev. Econ.* 31: 95-128.
- Casierra-Posada, F., Y. A. Matallana-Díaz, and E. Zapata-Casierra. 2014. Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by coloured covers. *Gesunde Pflanzen* 66: 149-155.
- Cook, R. L., and L. Calvin. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. US Department of Agriculture, Economic Research Service. No. 2 ([www.ers.usda.gov](http://www.ers.usda.gov)) 81 p.
- Cope, K. R., and B. Bugbee. 2013. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. *HortScience*. 48: 504-509.
- Darko, E., P. Heydarizadeh, B. Schoefs, and M. R. Sabzalian. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 369: 20130243.
- Eggink, L. L., and J. K. Hooper. 2000. Chlorophyll binding to peptide maquettes containing a retention motif. *J. Biol. Chem.* 275: 9087-9090.
- Espí, E., A. Salmerón, A. Fontecha, and A. I. García Real. 2006. Plastic films for agricultural applications. *J. Plastic Film Sheeting* 22: 85-102.
- Fletcher, J. M., A. Tatsiopoulos, M. Mpezamihigo, J. G. Carew, R. G. C. Henbest, and P. Hadley. 2005. Far-red light filtering by plastic film, greenhouse-cladding materials: effects on growth and flowering in *Petunia* and *Impatiens*. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 80: 303-306.
- Folta, K. M., and S. A. Maruhnich. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.* 58: 3099-3111.
- Gruda, N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24: 227-247.
- He, J., L. Qin, E. L. Chong, T. W. Choong, and S. K. Lee. 2017. Plant growth and photosynthetic characteristics of *Mesembryanthemum crystallinum* grown aeroponically under different blue-and red-LEDs. *Front. Plant Sci.* 8: 1-13.
- Hernández, R., and C. Kubota. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 121: 66-74.
- Hogewoning, W., E. Wientjes, and P. Douwstra. 2012. Photosynthetic quantum yield dynamics: from photosystems to leaves. *Plant Cell.* 24: 1921-1935.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2016. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19044a.html> (Consulta: enero 2017).
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Stanojević, D. Cvetković, and E. Fallik. 2012. Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Sci. Hort.* 139: 90-95.
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Šunić, and E. Fallik. 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *J. Sci. Food Agric.* 95: 2660-2667.
- Ilić, Z. S., L. Milenković, L. Šunić, S. Barać, J. Mastilović, Ž. Kevrešan, and E. Fallik. 2017. Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Žemdirbystė (Agriculture)* 104: 53-62.
- Jin, M., Z. Zhu, Q. Guo, H. Shen, and Y. Wang. 2012. Growth and accumulation of bioactive compounds in medicinal *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Chuju under different colored shade polyethylene. *J. Med. Plants Res.* 6: 398-404.
- Kittas, C., N. Katsoulas, V. Rigakis, T. Bartzanas, and E. Kitta. 2012. Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. *J. Hort. Sci. Biotech.* 87: 7-12.
- Kitta, E., A. D. Baille, N. Katsoulas, N. Rigakis, and M. M. Gonzalez-Real. 2014. Effects of cover optical properties on greenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Biosyst. Eng.* 122: 115-126.
- Li, K. T., and J. Syvertsen. 2006. Young tree growth and leaf function of citrus seedlings under colored shade netting. *HortScience* 41: 1022-1022.
- Lobos, G. A., J. B. Retamales, J. F. Hancock, J. A. Flore, S. Romero-Bravo, and A. Del Pozo. 2013. Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Sci. Hort.* 153: 143-149.
- López-Marín, J., A. Gálvez, A. González, C. Egea-Gilabert, and J. A. Fernández. 2012. Effect of shade on yield, quality and photosynthesis-related parameters of sweet pepper plants. *Acta Hort.* 956: 545-552.
- Orden, S., M. Goldberg, R. Quartino, L. Mascarini, A. Landini, H. Malleville, and L. Bottini. 2000. Estudio comparativo entre ensayos de exposición natural y envejecimiento acelerado de films de polietilenos para invernaderos. *Agric. Téc.* 60: 295-304.
- Oren-Shamir, M., E. Gussakovsky, E. Eugene, A. Nissim-Levi, K. Ratner, R. Ovadia, Y. Giller, and and Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76: 353-361.
- Posada, F. C., J. E. P. Olmos, y E. Z. Casierra. 2014. Contenido de pigmentos en hojas de fresa (*Fragaria* sp.) expuestas a diferente calidad de luz. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 17: 87-94.
- Runkle, E. S., and R. D. Heins. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 126: 275-282.
- Runkle, E. S., and R. D. Heins. 2006. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Hort.* 711: 51-60.
- SAGARPA (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación). 2015. en: <http://www>

- sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNSAGENE052017.aspx. (Consulta: abril 2017).
- 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.
- Singh, A., A. Syndor, B. C. Deka, R. K. Singh, and R. K. Patel. 2012. The effect of microclimate inside low tunnels on off-season production of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Sci. Hort.* 144: 36-41.

