

Características de la cubierta de un túnel efecto en radiación, clorofila y rendimiento de calabacita*

Characteristics of a tunnel cover effect on radiation, chlorophyll and zucchini yield

Martha Del Ángel-Hernández¹, Alejandro Zermeño-Gonzalez^{1§}, Aaron Isain Melendres-Alvarez¹, Santos Gabriel Campos-Magaña², Martín Cadena-Zapata² y Gustavo Arturo Del Bosque-Villarreal³

¹Departamento de Riego y Drenaje. (corefed@gmail.com; azermenog@hotmail.com; aaronmelendres@gmail.com). ²Departamento de Maquinaria Agrícola-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. CP. 25315. Tel. 01 (844) 4110353. (camposmsg@hotmail.com; martincadenza@gmail.com). ³Grupo Alfa Tecnológico. Miguel Nieto Sur 660. Col. Centro, Monterrey, Nuevo León. CP. 64000. (villarrealgart00@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: azermenog@hotmail.com.

Resumen

Debido que la agricultura bajo cubiertas plásticas es una alternativa para mejorar la producción de cultivos hortícolas, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro tipos de cubiertas de túneles de diferentes materiales y colores en la transmitancia de la radiación y su relación con contenido de clorofila, crecimiento y rendimiento de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo*) cv. Zucchini. El estudio se realizó durante el ciclo de producción otoño-invierno 2015 a 2016, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León. Los materiales utilizados fueron tres túneles con láminas de policarbonato de color rojo, azul y claro respectivamente, y otro con una cubierta de polietileno de alta densidad. Dentro de cada túnel se registró la radiación solar y la fotosintéticamente activa. También se obtuvo el contenido de clorofila de las hojas de las plantas. Los resultados mostraron que, para la banda de la radiación PAR, el policarbonato de color rojo tuvo la menor transmitancia (23.51%), seguido por el de color azul (57.46%), el polietileno de alta densidad (60.51%) y el de mayor transmitancia fue el policarbonato de color claro (82.57%). Las plantas que crecieron bajo el túnel con el policarbonato de color claro tuvieron mayor contenido de clorofila, mayor desarrollo

Abstract

Since the agricultura under plastic covers is an alternative to improve yield of horticultural crops, the aim of this research was to evaluate the effect of four types of tunnel covers of different materials and colors in the transmittance of radiation and its relationship with chlorophyll content, growth and crop yield of zucchini (*Cucurbita pepo*) cv. Zucchini. The study was conducted during the production cycle autumn-winter 2015-2016 in Sabinas Hidalgo, Nuevo León. The materials used were three tunnels with polycarbonate films of red, blue and clear color respectively, and another with a cover of high density polyethylene. Within each tunnel, solar radiation and photosynthetically active were registered. The chlorophyll contents from the leaves of the plants was also obtained. The results showed that, for the PAR radiation band, red polycarbonate had the lowest transmittance (23.51%), followed by the blue (57.46%), the high density polyethylene (60.51%) and the one with greater transmittance was the light-colored polycarbonate (82.57%). Plants grown under the tunnel with light colored polycarbonate had higher chlorophyll content, better leaf development and increased fruit yield.

* Recibido: abril de 2017
Aceptado: junio de 2017

foliar y rendimiento de fruto. Por el contrario, las plantas en el túnel de policarbonato rojo que recibieron la menor cantidad de radiación PAR, tuvieron el menor contenido de clorofila, menor desarrollo foliar y sin rendimiento de frutos.

Palabras clave: *Cucurbita pepo*, cubierta, policarbonato, polietileno, túnel, transmitancia.

Introducción

Los túneles son estructuras que se usan a escala global en la producción de hortalizas como tomate (*Solanum lycopersicum*), pepino (*Cucumis sativus*), melón (*Cucumis melo*), lechuga (*Lactuca sativa*), calabacita (*Cucurbita pepo*) entre otros (Lamont, 2009). El uso de túneles, permite ampliar los ciclos de producción, aumentan la calidad y rendimiento de los cultivos, reducir la incidencia de plagas y enfermedades y protección contra condiciones climáticas adversas (Lamont, 2009; Rogers *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2014).

Los diversos materiales de cubierta para invernaderos y túneles, incluso los que a simple vista se ven iguales, pueden tener propiedades espectrales de radiación diferentes y resultar en distintos patrones de transmitancia de longitudes de onda. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se encuentra en el rango de 400 a 700 nm, pero el desarrollo fotomorfológico de plantas es controlado por la relación entre la radiación recibida en el espectro del rojo (600-700 nm) sobre la recibida en el espectro del rojo lejano (700-800 nm), llamada relación rojo-rojo lejano, censada por los fitocromos (Smith, 2000) y por la relación entre luz recibida en el espectro del azul (400-500 nm) y del rojo, llamada relación azul-rojo (Lin, 2000).

Además, la tasa de absorción de la radiación por los pigmentos del sistema fotosintético de las plantas varía en función de la longitud de onda de la radiación incidente. McCree (1971) determinó en un estudio clásico la eficiencia cuántica relativa en 22 especies vegetales, encontrando una curva característica común a todas ellas en la que existen dos picos de absorción en los 440 y 620 nm y un mínimo a 670 nm. Esto significa que los cambios en la distribución de la radiación a lo largo del espectro de la PAR afectan la eficiencia con la que la planta puede utilizar esta radiación para llevar a cabo el proceso fotosintético (Escobar *et al.*, 2009; Hogewoning *et al.*, 2012).

In contrast, the plants in the red polycarbonate tunnel that received the least amount of PAR radiation had the lowest chlorophyll content, lower leaf development and no fruit yield.

Keywords: *Cucurbita pepo*, cover, polycarb, polyethylene, tunnel, transmittance.

Introduction

The tunnels are structures used globally in vegetable production as tomato (*Solanum lycopersicum*), cucumber (*Cucumis sativus*), melón (*Cucumis melo*), lettuce (*Lactuca sativa*), zucchini (*Cucurbita pepo*) among others (Lamont, 2009). The use of tunnels allows to extend production cycles, increases crop quality and yield, reduces pest and disease incidence, and protects against adverse climatic conditions (Lamont, 2009; Rogers *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2014).

The various roofing materials for greenhouses and tunnels, even those which at first glance look the same, may have different spectral radiation properties and result in different wavelength transmittance patterns. Photosynthetically active radiation (PAR) is in the range of 400 to 700 nm, but the photomorphogenic development of plants is controlled by the ratio of the radiation received in the red spectrum (600-700 nm) over that received in the spectrum of the far red (700-800 nm), called the red- far red relation, as measured by the phytochromes (Smith, 2000) and by the ratio of light received in the blue spectrum (400-500 nm) and the red, called Blue-red relation (Lin, 2000).

Furthermore, the absorption rate of radiation by the pigments of the photosynthetic system of plants varies depending on the wavelength of the incident radiation. McCree (1971) determined in a classical study the relative quantum efficiency in 22 plant species, finding a common characteristic curve in which there are two absorption peaks at 440 and 620 nm and a minimum at 670 nm. This means that changes in the distribution of radiation over the spectrum of PAR affect the efficiency with which the plant can use this radiation to perform the photosynthetic process (Escobar *et al.*, 2009; Hogewoning *et al.*, 2012).

Estudios previos han reportado el efecto de las características y color de las cubiertas en el crecimiento y desarrollo de varios cultivos. Por ejemplo, Ombodi *et al.* (2015) reportaron que el color de la cubierta plástica de un túnel, invernadero o malla sombra, reduce la cantidad y características de la radiación solar total y la fotosintéticamente activa que incide sobre las plantas, y que la malla sombra de color amarillo y verde tuvieron menor transmitancia de la radiación solar que la de color rojo y blanco. Estudios realizados por Ilić *et al.* (2015) en un cultivo de tomate observaron que bajo una malla sombra de color perla y rojo se tuvo un mayor desarrollo de las hojas y rendimiento de fruto que el observado bajo las mallas de color azul y negro, pero el mayor contenido de clorofila fue en las plantas bajo las mallas de color azul y negro.

También observaron que el contenido de licopeno y β -caroteno fue más alto en las plantas bajo el color rojo respecto al color perla. La tasa de fotosíntesis y la conductancia estomática de plantas de vid (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) fue mayor bajo un macro túnel con cubierta plástica de polipropileno transparente que la observada en condiciones de cielo abierto (Mota *et al.*, 2009). En otro estudio, Oliviera *et al.* (2016) observaron que el uso de una malla sombra de color azul aumentó la altura de plantas, área foliar y contenido de clorofila de toronjil (*Melissa officinalis* L.) más que las mallas de color rojo y negro.

Trabajos realizados por Retamal *et al.* (2015) en arándanos (*Vaccinium corymbosum*) a cielo abierto y bajo túneles de polietileno de alta densidad, demostraron que bajo los túneles se incrementa la temperatura del aire, aumenta la precocidad, el rendimiento y la conductancia estomática debido a mayor difusividad de la radiación fotosintéticamente activa. Sales *et al.* (2014) reportaron que la malla sombra de color negro mostró un aumento en el índice de área foliar en lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a la malla de color rojo. Santos y Salame-Donoso (2012) encontraron que en arándano (*Vaccinium oxycoccus*) bajo un túnel de polietileno con 35% de sombreado, se tuvo incremento de la floración, mayor peso del fruto y rendimiento que bajo condiciones de cielo abierto. Casierra *et al.* (2014) observaron que para Chile Pimiento (*Capsicum annuum*) el mayor contenido de clorofila se observó en las plantas bajo las cubiertas de polipropileno de color azul, verde y transparente, con respecto al observado bajo las cubiertas de color amarillo y rojo.

La producción mundial de calabacita en 2014 fue 24 609 859 t sembrados en 1 793 195 ha, siendo China e India los principales productores. (FAO, 2016). Esta hortaliza

Previous studies have reported the effect of the characteristics and color of the covers in the growth and development of various crops. For example, Ombodi *et al.* (2015) reported that the color of the plastic cover of a tunnel, greenhouse or shade mesh, reduces the amount and characteristics of the total and the photosynthetically active solar radiation that affects the plants, and that the shade mesh of yellow and green color had a lower transmittance of solar radiation than red and white. Studies by Ilić *et al.* (2015) in a tomato crop shown that under a pearl and red color shade mesh there was a higher leaf development and fruit yield than that observed under the blue and black meshes, but the higher content of chlorophyll was found in plants under blue and black meshes.

They also observed that the content of lycopene and β -carotene was higher in plants under the red color than the pearl color. The photosynthesis rate and stomatal conductance of grapevine plants (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) was higher under a macro tunnel with transparent polypropylene plastic cover than that observed under open sky conditions (Mota *et al.*, 2009). In another study, Oliviera *et al.* (2016) observed that the use of a blue shade mesh increased the plants height, leaf area and chlorophyll content of melissa (*Melissa officinalis* L.) rather than red and black meshes.

Investigations performed by Retamal *et al.* (2015) in open-air cranberry cultivation (*Vaccinium corymbosum*) under high-density polyethylene tunnels showed that under the tunnels the air temperature increases, precocity, yield and stomatal conductance increase due to greater diffusivity of the photosynthetically active radiation. Sales *et al.* (2014) reported that the black shade mesh showed an increase in the leaf area index in lettuce (*Lactuca sativa* L.) compared to the red mesh. Santos and Salame-Donoso (2012) found that in the cultivation of cranberry (*Vaccinium oxycoccus*) under a polyethylene tunnel with 35% shading, increased flowering, higher fruit weight and higher yield than under open sky conditions were found. Casierra *et al.* (2014) observed that for a chilli pepper (*Capsicum annuum*) crop the highest chlorophyll content was observed in the plants under the blue, green and transparent polypropylene covers, compared to that observed under the yellow and red covers.

World production of zucchini in 2014 was 24 609 859 t sown on 1 793 195 ha, being China and India the leading producers. (FAO, 2016). This vegetable is one of the most

es una de mayor importancia para México, con un valor de producción de \$1 928 700 en 2014. México es el séptimo productor de calabacita a nivel internacional con una superficie sembrada de 24 962.9 ha obteniendo una producción total de 413 954 t (SIAP, 2015).

Estudios previos han reportado el efecto del color de la cubierta de los invernaderos, malla sombra o túneles en el crecimiento y rendimiento de hortalizas, pero pocos han evaluado el efecto del color de la cubierta plástica en la magnitud espectral de la radiación que incide sobre las plantas y en el contenido de clorofila. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de cuatro tipos de cubiertas de túneles de diferentes materiales y colores en las características espectrales y la intensidad de la radiación transmitida, su efecto en el contenido de clorofila y su relación con el crecimiento y rendimiento de la calabacita (*Cucurbita pepo*) cv Zucchini.

Materiales y métodos

Ubicación del sitio de estudio

El estudio se ubicó en el municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, cuyas coordenadas son: 26° 30' 3" latitud norte, 100° 8' 36" longitud oeste a una altitud de 290 m. La temperatura media anual es 28 °C, los vientos dominantes son del noreste y el este con una precipitación promedio anual de 700 mm. El clima de la región es seco estepario (INAFED, 2016). Para el desarrollo del experimento, se establecieron cuatro túneles de forma ovalada de 4 m de ancho, 2.5 m de alto y 12 m de longitud con una separación entre túneles de 6 m. Los túneles se orientaron de norte-sur con la puerta de acceso al lado sur. La cubierta de tres túneles fue una película de policarbonato de diferente color (azul, rojo y transparente), el otro se cubrió con polietileno de alta densidad (180 µm de espesor). El policarbonato es un polímero termoplástico en planchas alveolares que consta de dos o tres paredes paralelas unidas transversalmente por paredes del mismo material. Las placas fueron de 12.2 m de largo por 1.83 m de ancho y 6 mm de espesor con un espacio de aire en los alvéolos para aislamiento térmico para reducir el enfriamiento nocturno.

Establecimiento y manejo del cultivo

El cultivo establecido fue calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni. En cada túnel se establecieron dos camas de 0.6 m de ancho, separadas 1.2 m. La siembra directa se

important for Mexico, with a production value of \$1 928 700 Mexican pesos in 2014. Mexico is the seventh largest international producer of zucchini with a seeded surface of 24 962.9 ha obtaining a total yield of 413 954 t (SIAP, 2015).

Previous studies have reported the effect of color cover on greenhouses, shade mesh or tunnels in the growth and yield of different vegetable crops, but few of them have evaluated the effect of the color of the plastic cover on the magnitude and spectral characteristics of the radiation incident on the plants, and chlorophyll content. So, the aim of this paper was to evaluate the effect of four types of tunnels covers of different materials and colors in the spectral characteristics and the intensity of the transmitted radiation, its effect on the chlorophyll content and its relationship with growth and crop yield of zucchini (*Cucurbita pepo*) cv Zucchini.

Materials and methods

Location of study site

The study was located in the municipality of Sabinas Hidalgo, Nuevo León, whose geographical coordinates are: 26°30' 3" north latitude, 100° 8' 36" west longitude at an altitude of 290 m. The average annual temperature is 28 °C, the prevailing winds are Northeast and East with an annual average precipitation of 700 mm. The climate of the region is dry steppe (INAFED, 2016). For the development of the experiment, four oval-shaped tunnels of 4 m wide, 2.5 m high and 12 m long with a 6 m tunnel spacing were established. The tunnels were oriented North-South with the access door on the south side. The cover of the three tunnels was polycarbonate film each of different color (blue, red and transparent), the other was covered with high density polyethylene (180 µm thick). Polycarbonate is a thermoplastic polymer in alveolar plates consisting of two or three parallel walls transversely joined by walls of the same material. Plates were 12.2 m length and 1.83 m wide and 6 mm thick with an air space in the alveoli for thermal insulation to reduce night cooling.

Establishment and management of the crop

The established crop was zucchini (*Cucurbita pepo* L.), variety Zuchinni. Two beds in each tunnel were established of 0.6 m wide, separated at 1.2 m. Direct seeding was

realizó el 12 de noviembre de 2015, colocando la semilla a una profundidad de 25 mm y 0.5 m entre plantas en las dos camas de cada uno de los cuatro túneles. La semilla germinó seis días después de siembra. El suelo de cada túnel se fertilizó con lombricomposta (3 kg m^{-2}) en una sola aplicación antes de la siembra. El riego se aplicó con un sistema de riego por goteo con una manguera de 16 mm de diámetro con goteros integrados a una separación de 0.4 m. El gasto del emisor fue de 2 LPH con tiempos de riego de 25 min diarios, que correspondió a una lámina diaria de 3.47 mm. El deshierbe se realizó en forma manual.

Instrumentación y mediciones realizadas

Al centro de cada túnel, en un poste fijo a una altura de 0.7 m sobre la superficie se instaló un piranómetro de silicón (modelo LI200x, LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, EE, UU) y un sensor quantum (apoge instruments, Logan, Utah, EE, UU) para medir la radiación solar (Rsw) y fotosintéticamente activa (PAR) respectivamente. Los sensores mencionados fueron conectados a dos dataloggers CR1000 (Campbell, Scientific, Logan, Utah, EE, UU). Las mediciones se realizaron a una frecuencia de 1 s y se generaron promedios continuos de 30 min a través del ciclo de crecimiento del cultivo (27 de noviembre de 2015 al 19 de febrero de 2016).

Además de las mediciones digitalizadas continuas, a intervalos de 15 días y en cada uno de los cuatro túneles, entre las 12:00 y 14:00 h se determinó el contenido relativo de clorofila de las hojas (SPAD 502 Plus, Spectrum, Technologies, Inc.). La transmitancia de las cubiertas de policarbonato y el polietileno a la radiación solar en banda de la PAR se determinó en un día con cielo despejado a la hora de mayor incidencia de radiación solar (13:00 a 14:00 h), colocando un espectro radiómetro (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, EE, UU), por encima y por debajo de cada cubierta.

Crecimiento y rendimiento del cultivo

A través del ciclo de desarrollo del cultivo y a una frecuencia de 15 días se midió el número de hojas por planta y el área de las mismas (con un flexómetro y un vernier digital). Durante la cosecha se cuantificó el número de frutos por planta. Para cada fruto cosechado de cada corte, se pesó (balanza analítica), midió el diámetro y longitud (vernier digital). En cada corte, sólo se cosecharon los frutos de una longitud mayor de 12 cm.

performed on November 12, 2015, placing one seed at a depth of 25 mm and 0.5 m between plants in the two beds of each of the four tunnels. The seeds germinated six days after sowing. The soil of each tunnel was fertilizer with vermicompost (3 kg m^{-2}) in one application before planting. Irrigation was applied with a system of drip irrigation using a 16 mm diameter hose with integrated droppers at a separation of 0.4 m. With an expence of 2 LPH with daily watering times of 25 min, corresponding to a daily sheet of 3.47 mm. Weeding was done manually.

Instrumentation and performed measurements

At the center of each tunnel, on the surface of a fixed pole at a 0.7 m height a silicone pyranometer was intalled (LI 200 x model, LI-COR, Inc., Lincon, Nebraska, USA) and a quantum sensor (apoge instruments, Logan, Utah, USA) for measuring solar radiation (RSW) and photosynthetically active (PAR) respectively. Those sensors were connected to two CR1000 datalogger (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA, UU). Measurements were performed at a frequency of 1 s and continuous averages of 30-min were generated throughout the crop growing cycle (November 27, 2015 to February 19, 2016).

In addition to continuously digitized measurements at intervals of 15 days and on each of the four tunnels, between 12:00 and 14:00 h the relative chlorophyll content of leaves was determined (SPAD 502 Plus, Spectrum, Technologies, Inc.). The transmittance of polycarbonate covers and polyethylene to solar radiation in the PAR band was determined on a day with completely clear sky at the time of higher incidence of solar radiation (13:00 to 14:00), placing a spectrum radiometer (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, USA), above and below each cover.

Growth and yield of the crop

Through the development cycle of the crop and at a frequency of 15 days the number of leaves per plant and its area (with a tape measure and a digital vernier) were measured. During the harvest the number of fruits per plant was quantified. For each fruit harvested from each cut, the weight (with an analytical balance), the diameter and length (with a digital vernier) were measured. In each section, only fruits of a length greater than 12 cm were harvested.

Para determinar el área de las hojas se empleó el factor propuesto por Rouphael y Colla *et al.* (2005) para hojas de las plantas de calabacita Zucchini.

$$AF = 0.72 * A \quad (1)$$

Donde: AF= área foliar (cm²); A= producto del ancho mayor (a) por la longitud mayor (l) de la hoja.

Evaluación estadística

Para el análisis de varianza y comparación de medias del crecimiento foliar (número y área de las hojas), contenido de clorofila de las hojas y calidad del fruto (peso, diámetro y longitud), se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha \leq 0.05$) (ya que los datos no tuvieron distribución normal), considerado cuatro tratamientos (los cuatro túneles) y cuatro repeticiones por parámetro evaluado. Para el número y área de las hojas, la unidad experimental fue una planta. Para contenido de clorofila fue el promedio de 12 mediciones (3 lecturas por hoja de 4 hojas de diferente planta), mientras que, para calidad del fruto, la evaluación estadística se realizó con los frutos cosechados en todos los cortes realizados.

Resultados y discusión

Propiedades espectrales de las cubiertas plásticas

En la Figura 1 se muestra la transmitancia de las láminas de policarbonato y el polietileno de alta densidad a la radiación solar en la banda de la radiación fotosintéticamente activa (PAR)(400 a 700 nm). Para toda la banda de la PAR, el policarbonato transparente tuvo mayor transmitancia y fue aproximadamente uniforme en todo el rango de longitud de onda. El policarbonato azul mostró alta transmitancia de 400 a 500 nm, decrece de 500 a 600 nm y aumenta nuevamente de 600 a 700 nm. El policarbonato rojo no transmite radiación de 400 a 575 nm, pero mostró gran transmitancia de 600 a 700 nm. El polietileno de alta densidad tuvo un patrón de transmitancia de la radiación PAR similar al policarbonato transparente, pero de menor magnitud. Para toda la banda de la radiación PAR, el policarbonato de color rojo tuvo menor transmitancia (23.51%), seguido por el de color azul (57.46%), el polietileno de alta densidad (60.51%) y el de mayor transmitancia fue el policarbonato de color claro (82.57%) (Cuadro 1).

For determining the leaf area a factor proposed by Rouphael and Colla factor *et al.* (2005) was used for the leaves of zucchini plants.

$$AF = 0.72 * A \quad (1)$$

Where: AF= leaf area (cm²); A= product of greater width (a) by the greatest length (l) of the sheet.

Statistical evaluation

For the analysis of variance and comparison of means of leaf growth (number and leaf area), chlorophyll content of leaves and fruit quality (weight, diameter and length), the non-parametric Kruskal-Wallis test ($\alpha \leq 0.05$) was used (because the data were not normally distributed), considering four treatments (four tunnels) and four replications per evaluated parameter. For the number and leaf area, the experimental unit was a plant. For chlorophyll content it was the average of 12 measurements (3 readings per leaf of 4 leaves from different plants), while for fruit quality, statistical evaluation was performed with the fruit harvested in all the cuts.

Results and discussion

Spectral properties of the plastic covers

Figure 1 shows the transmittance of the polycarbonate sheets and high density polyethylene to solar radiation in the band of photosynthetically active radiation (PAR) (400-700 nm). For the whole band of the PAR, the transparent polycarbonate showed more transmittance and was approximately uniform over the entire range of wave length. The blue polycarbonate showed high transmittance from 400 to 500 nm, decreases from 500 to 600 nm and increases again from 600 to 700 nm. The red polycarbonate does not transmit radiation from 400 to 575 nm, but showed high transmission from 600 to 700 nm. High density polyethylene had a PAR radiation transmittance pattern similar to transparent polycarbonate, but of smaller magnitude. For the entire band of PAR radiation, the red polycarbonate had a lower transmittance (23.51%), followed by blue (57.46%), high density polyethylene (60.51%) and the light color polycarbonate showed higher transmittance (82.57%) (Table 1).

Cuadro 1. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) que se transmite a través de cada cubierta de cuatro macro túneles, y la relación porcentual con relación a la radiación PAR incidente sobre las cubiertas ($1\ 339.035\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$).

Table 1. Photosynthetically active radiation (PAR) that is transmitted through each cover of four macro tunnels, and the percentage ratio relative to PAR radiation incident on covers ($1\ 339.035\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$).

Material de la cubierta	Radiación PAR que se transmite ($\mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)	Transmitancia (%)
Policarbonato de color rojo	68.585	23.51
Policarbonato de color azul	167.581	57.46
Policarbonato de color claro	240.838	82.57
Poliétileno de alta densidad	176.477	60.51

Una menor radiación PAR que incide sobre las plantas tiene también efecto directo en la tasa de fotosíntesis y en el crecimiento y rendimiento de las plantas, por lo que las plantas bajo el policarbonato de color rojo pueden ser de menor crecimiento y rendimiento. Al respecto, estudios desarrollados por Sandri *et al.* (2003) en invernadero observaron una reducción del rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) debido a una baja incidencia de PAR por efecto de sombreo. Similarmente, Bagdonavičienė *et al.* (2015) reportaron una menor asimilación de CO_2 en pepino (*Cucumis sativus*) y tomate cuando las plantas recibieron $200\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ de radiación PAR, con relación a las plantas con una radiación PAR de $400\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$

También se ha documentado ampliamente el efecto morfogénico asociado a variaciones en el ambiente lumínico de las plantas. Smith (2000) mostró el papel de los fitocromos para controlar diversos aspectos del desarrollo de las plantas en función de la cantidad relativa de luz dentro del espectro del rojo (600-700 nm) y el rojo lejano (700-800 nm); a su vez, Lin (2000) encontró que la cantidad relativa de luz dentro del espectro del azul (400-500 nm) respecto a la que se encuentra en el espectro del rojo tiene diversos efectos morfológicos.

El policarbonato color rojo mostró nula transmitancia de la radiación de 400 a 575 nm (Figura 1). Esto en principio puede afectar a la planta en dos formas principales: a través

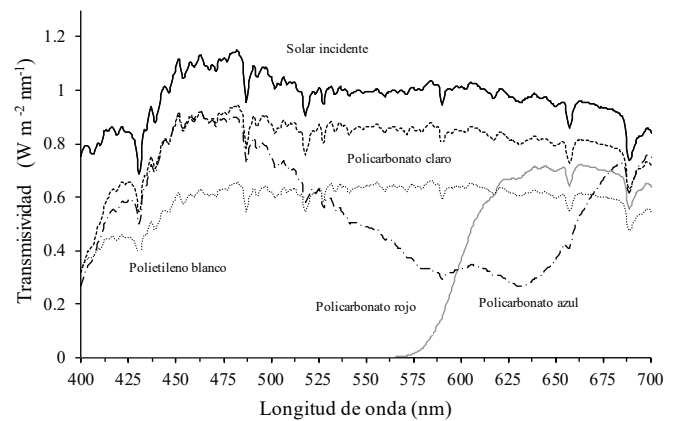


Figura 1. Radiación solar incidente en un rango de 400 a 700 nm de longitud de onda, y la transmitida bajo tres túneles con láminas de policarbonato de color claro, azul y rojo y un túnel con polietileno de alta densidad.

Figure 1. Incident solar radiation in a range of 400 to 700 nm wavelength, and that transmitted in three tunnels with polycarbonate covers of clear color, blue and red and one tunnel with high density polyethylene.

Lower PAR radiation impinging on plants also has direct effect on the photosynthesis rate and growth and yield of plants, so plants under red polycarbonate can show lower growth and yield. In this regard, studies carried out by Sandri *et al.* (2003) in greenhouses showed a yield decrease in tomato (*Solanum lycopersicum*) due to a low PAR incidence by shading effect. Similarly, Bagdonavičienė *et al.* (2015) reported a lower CO_2 assimilation in cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato when plants received $200\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ of PAR radiation, compared to the plants with a PAR radiation of $400\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$.

It has also been widely documented the morphogenic effect associated with variations in the light environment of the plants. Smith (2000) showed the role of phytochromes in controlling various aspects of plant development regarding to the relative amount of light within the spectrum of red (600-700 nm) and far red (700-800 nm); Lin (2000) also found that the relative amount of light within the spectrum of blue (400-500 nm) regarding to that found in the spectrum of red has various morphological effects.

The red polycarbonate showed no radiation transmittance from 400 to 575 nm (Figure 1). This can affect the plant in two main ways: through the reduction of the efficiency

de la reducción de la eficiencia con la que se puede realizar la fotosíntesis, al no existir radiación en uno de los picos de absorción determinados por McCree (1971) y a través de la modificación de los balances entre rojo y rojo lejano y entre rojo y azul (Smith, 2000; Lin, 2000), aunque la transmitancia en el espectro del color azul, que es el de mayor absorción por la planta (Hogewoning *et al.*, 2012), es muy alta. En cambio, el policarbonato azul tuvo mayor transmitancia en el rango de 400 a 500 nm, pero presenta una caída en la transmitancia en el rango de 550 a 650 nm. En base al mismo criterio con que se analizó el policarbonato rojo, el de color azul en principio tiene mejores propiedades para su uso como material de cubierta. Grbic *et al.* (2016) realizaron pruebas en túneles con cubiertas plásticas de color verde y lavanda en *Perilla frutescens* y encontraron un efecto significativo de los túneles en el desarrollo vegetativo del cultivo, existiendo una relación inversa entre la luminosidad y el desarrollo vegetativo.

Radiación solar total incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas dentro de cada túnel, recibieron una magnitud diferente de radiación solar total (R_{sw}) y menor que la recibida sobre la cubierta de los túneles (Figura 2). La transmitancia menor de la R_{sw} se observó en el policarbonato de color rojo y la mayor en el de color claro. La mayor incidencia y penetración de la radiación en esta localidad y época del año se observa entre las 12:00 y las 14:00 h.

En el Cuadro 2, se muestra la cantidad total de radiación solar (valores diarios integrados de 7:00 a 19:00 h) recibida por las plantas durante los meses de crecimiento (28 de noviembre de 2015 al 18 de febrero de 2016). Las plantas bajo el policarbonato de color rojo recibieron menor cantidad total de radiación solar en el periodo de crecimiento ($1\ 084.02\ \text{MJ m}^{-2}$), la incidencia mayor de R_{sw} fue en el policarbonato claro ($1\ 344.23\ \text{MJ m}^{-2}$), seguido por el polietileno de alta densidad ($1\ 160.84\ \text{MJ m}^{-2}$) y el policarbonato azul ($1\ 149.86\ \text{MJ m}^{-2}$). En túneles con cubiertas plásticas de polietileno color blanco, verde, amarillo y rojo Ombódi *et al.* (2015) observaron una disminución de la transmitancia de la radiación PAR de 23 y 39%, y de 32 a 46% en la radiación PAR en todos los colores y que la retención mayor fue en el color amarillo y verde en los rangos de 450 a 450 nm y 550 a 670 nm respectivamente. De igual forma, Retamal-Salgado *et al.* (2015) reportan una reducción en la radiación PAR de 25% utilizando una cubierta de polietileno de alta densidad para invernadero.

with which photosynthesis can be carried out, as there is no radiation in one of the absorption peaks determined by McCree (1971) and through modifying the balance between red and far red and between red and blue (Smith, 2000; Lin, 2000), although the transmittance in the spectrum of blue, which is the highest plant uptake (Hogewoning *et al.* 2012) is very high. Instead, blue polycarbonate showed higher transmittance in the range of 400 to 500 nm, but shows a transmittance drop in the range of 550 to 650 nm. Based on the same criteria used to analyzed the red polycarbonate, the blue in principle has better properties for use as roofing material. Grbic *et al.* (2016) conducted tests on tunnels with green and lavender plastic covers in *Perilla frutescens* and found a significant effect of the tunnels in the vegetative development of the crop, finding an inverse relationship between luminosity and vegetative growth.

Total incident and transmitted solar radiation on tunnels covers

During the development cycle of the crop, plants within each tunnel, received a different magnitude of total solar radiation (R_{sw}) and lower than that received on the tunnel cover (Figure 2). The lower R_{sw} transmittance was observed in red polycarbonate and the highest in the one of light color. The higher incidence and penetration of radiation at this location and time of year is observed between 12:00 and 14:00 h.

Table 2 shows the total amount of solar radiation (integrated daily values from 7:00 am to 7:00 pm) received by plants during the months of crop growth (November 28, 2015 to February 18, 2016). Again, the plants under the red polycarbonate received less total amount of solar radiation during the entire growing period ($1\ 084.02\ \text{MJ m}^{-2}$), the highest incidence of R_{sw} was in light polycarbonate ($1\ 344.23\ \text{MJ m}^{-2}$), followed by high density polyethylene ($1\ 160.84\ \text{MJ m}^{-2}$) and blue polycarbonate ($1\ 149.86\ \text{MJ m}^{-2}$). In tunnels with white, green, yellow and red plastic polyethylene covers Ombódi *et al.* (2015) observed a decrease in the transmittance of PAR radiation between 23 and 39%, and 32-46% in PAR radiation in all colors and that the highest retention was shown by the yellow and green color in the ranges of 450 to 450 nm and 550 to 670 nm respectively. Similarly, Retamal-Salgado *et al.* (2015) reported a reduction in PAR radiation of 25% using a high density polyethylene greenhouse cover.

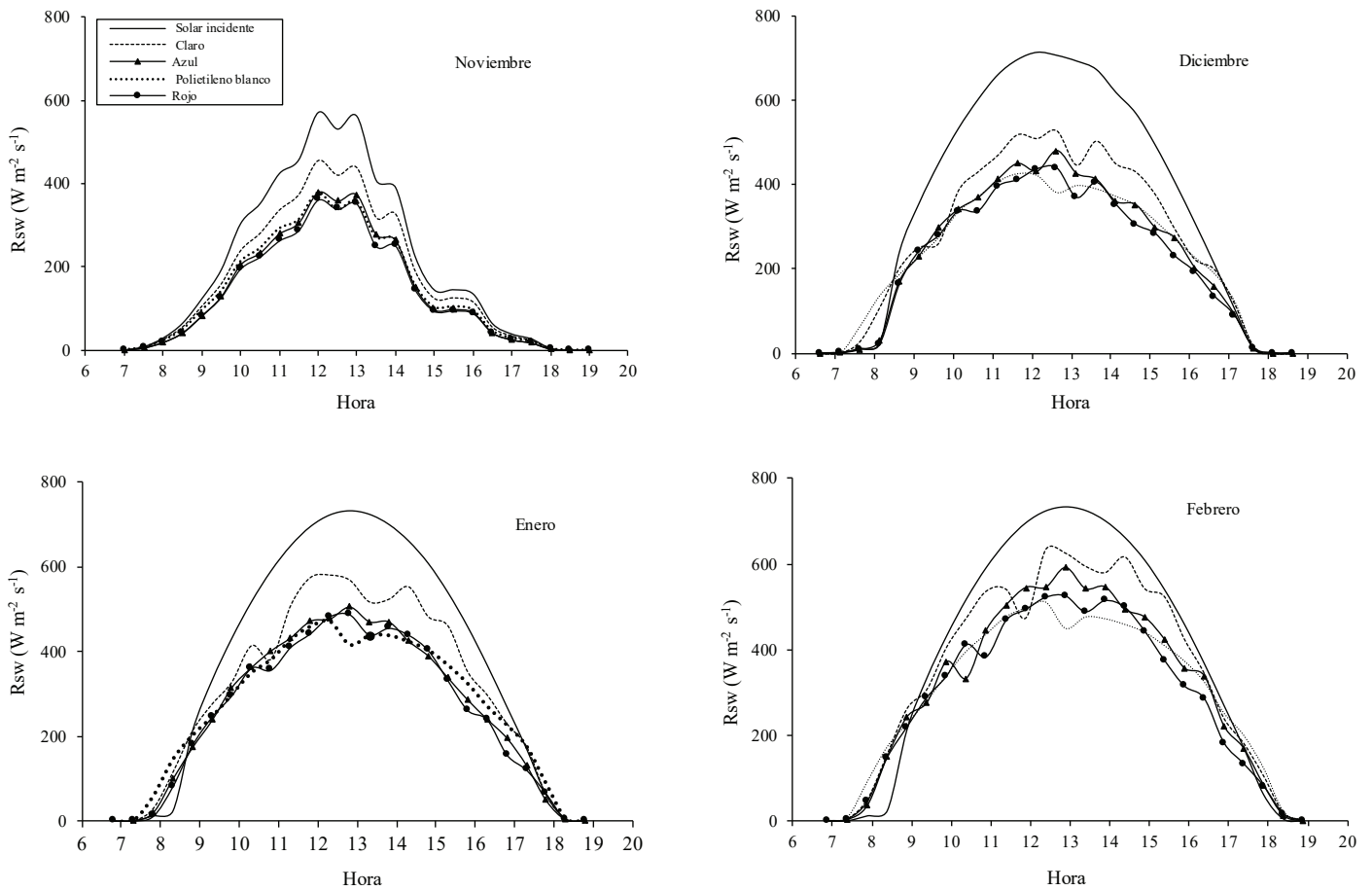


Figura 2. Radiación solar total incidente (Rsw) y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7:00 y 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita.

Figure 2. Incident total solar radiation (Rsw) and that transmitted through clear, blue, red color polycarbonate covers and high density polyethylene, between 7:00 am and 7:00 pm on a clear day of the months of growth of the zucchini crop.

Cuadro 2. Radiación solar total integrada diaria (7:00 a 19:00 h) durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de calabacita, bajo los túneles de diferentes colores y materiales.

Table 2. Integrated daily total solar radiation (7:00 am a 7:00 pm) during the months of the growth cycle of the zucchini crop, under tunnels of different colors and materials.

Fecha	Días en el periodo	Radiación solar total integrada (MJ m ⁻²)			
		Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
28-30 noviembre de 2015	3	14.44	12.05	11.64	11.13
1-31 diciembre de 2015	31	282.01	244.23	237.31	21.986
01-31 enero de 2016	31	317.4	274.15	269.15	255.78
01-18 febrero de 2016	18	730.38	630.4	631.76	597.26
Total	83	1344.23	1160.84	1149.86	1084.02

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

La diferencia en la transmitancia de las cubiertas entre los túneles de diferentes colores y materiales a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue más evidente que la observada para la radiación solar total incidente (Figura 3). Esto se debió que las diferentes cubiertas son más selectivas a la radiación PAR que a la radiación cercana y lejana al infrarrojo. Se observó claramente, que las plantas bajo el policarbonato de color rojo recibieron la menor cantidad de radiación PAR, muy inferior a la recibida por los policarbonatos de otros colores y de la que incide sobre los túneles (Figura 3). La menor radiación PAR que se transmite sobre el policarbonato de color rojo, tendrá un marcado efecto en la fisiología de las plantas y en el crecimiento y rendimiento de las plantas.

Incident photosynthetically active radiation and transmitted in the tunnels covers

The transmittance difference of the covers between tunnels of different colors and materials to photosynthetically active radiation (PAR) was more evident than that observed for incident solar radiation (Figure 3). This was because the different covers are more selective to PAR radiation than to near and far infrared radiation. It was clearly observed that the plants under the red polycarbonate received the least amount of PAR radiation, much lower than that received by the polycarbonates of other colors and the one that incides on the tunnels (Figure 3). The lower PAR radiation transmitted on the red polycarbonate will have a marked effect on the plants physiology and on the growth and yield of plants.

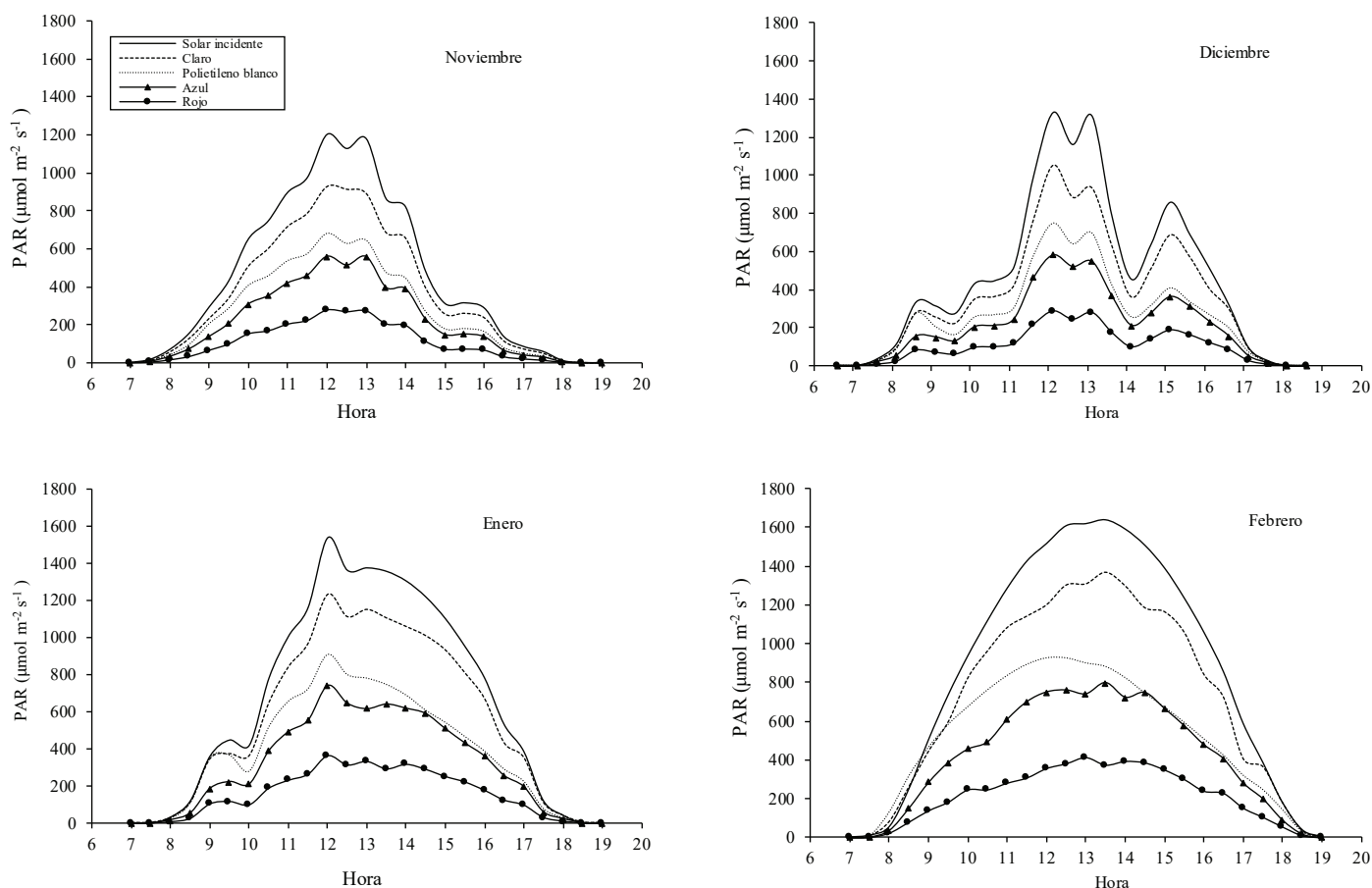


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita.

Figure 3. Photosynthetically active radiation (PAR), incident and transmitted through the light, blue, red colored polycarbonate and high density polyethylene covers between 7:00 am and 7:00 p.m. on a clear day of the development months of the zucchini crop.

Oliviera *et al.* (2016) observaron que, para un cultivo de toronjil (*Melissa officinalis* L.), el uso una malla sombra de color azul aumentó la altura de plantas, área foliar y contenido de clorofila, contrario a los resultados obtenidos con mallas de color rojo y negro. Después del rojo, la cubierta con menor transmitancia de la radiación PAR fue el polietileno de color azul, seguida por el polietileno de alta densidad y la cubierta con mayor transmitancia fue el polietileno claro (Figura 3). Con base a estos datos, se podría inferir que las plantas bajo el túnel de policarbonato claro tendrían mayor crecimiento y rendimiento; sin embargo, además de la intensidad de la radiación se debe considerar la calidad de la radiación, ya que el grado de difusividad de la radiación es mayor en el polietileno de alta densidad, lo que puede resultar en mayor productividad (Jongschaap *et al.*, 2006). De igual forma que para la radiación R_{sw} , de 12:00 a 14:00 h se observó la mayor incidencia de radiación PAR.

Las diferencias en la PAR total integrada (7:00 a 19:00 h) durante los meses de crecimiento del cultivo bajo las cubiertas de diferentes colores fue muy pronunciada (Cuadro 3). Claramente se observó que las planta bajo el policarbonato de color rojo recibieron la menor cantidad de radiación (516.1 mol m^{-2}), seguida del policarbonato azul ($1\ 026.92 \text{ mol m}^{-2}$), polietileno de alta densidad ($1\ 274.49$) y el de mayor transmitancia fue el policarbonato claro ($1\ 757.87 \text{ mol m}^{-2}$). En términos de porcentaje, las plantas bajo la cubierta roja recibieron solo el 29.36% de la radiación PAR que se recibió bajo la cubierta de color claro. La menor cantidad de radiación PAR que recibieron las plantas bajo el policarbonato rojo debe tener un fuerte impacto en el crecimiento y rendimiento de las plantas. Al respecto, Martínez *et al.* (2016) evaluaron en un cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) plásticos de polietileno de color rojo, azul, perla y negro y un control con 50% de sombreado, sus estudios mostraron una reducción en la radiación PAR en los tratamientos de colores, y que en el polietileno rojo las plantas presentaron mayor altura, pero menor peso seco, diámetro del tallo y número de brotes.

Contenido de clorofila en las hojas

Las plantas que crecieron bajo el túnel con policarbonato de color claro, tuvieron el mayor contenido de clorofila (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$) a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Cuadro 4). Esto estuvo directamente relacionado con mayor incidencia tanto de radiación solar total como de radiación fotosintéticamente activa sobre las plantas (Cuadros 2 y 3). Desde el inicio y durante el ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas bajo el policarbonato rojo tuvieron menor contenido de

Oliviera *et al.* (2016) observed that, for a melissa crop (*Melissa officinalis* L.), using a blue shadow mesh increased plant height, leaf area and chlorophyll content, contrary to the results obtained with red and black meshes. After the red, the cover with lower PAR radiation transmittance was blue polyethylene, followed by high density polyethylene and the cover with the highest transmittance was clear polyethylene (Figure 3). Based on these data, it can be inferred that plants under the tunnel of clear polycarbonate would have greater growth and yield, however, in addition to the intensity of radiation, it should be considered radiation quality, since the degree of radiation diffusivity is higher in the high density polyethylene, which can result in higher yield (Jongschaap *et al.*, 2006). Similarly, for the R_{sw} radiation, from 12:00 to 14:00 h, the highest incidence of PAR radiation was observed.

The differences in total integrated PAR (7:00 to 19:00 h) during the months of crop development under the different colors covers was very pronounced (Table 3). Clearly it was observed that the plants under red polycarbonate received the least amount of radiation (516.1 mol m^{-2}), followed by the blue polycarbonate ($1\ 026.92 \text{ mol m}^{-2}$), high density polyethylene (1274.49) and the one with the highest transmittance was clear polycarbonate ($1\ 757.87 \text{ mol m}^{-2}$). In terms of percentage, the plants under red cover received only 29.36% of the PAR radiation received under the light color cover. The low amount of PAR radiation received by the plants under the red polycarbonate should have a strong impact on growth and yield of plants. In this regard, Martínez *et al.* (2016) evaluated in basil crop (*Ocimum basilicum*) red, blue, pearl and black color polyethylene and a control with 50% shading, their research showed a PAR radiation reduction in the colors treatments, and in the red polyethylene plants showed greater height but less dry weight, stem diameter and number of buds.

Chlorophyll content in leaves

Plants grown under the tunnel with light-colored polycarbonate, had the highest chlorophyll content (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$) through the crop growth cycle (Table 4). This was directly related to higher incidence of both total solar radiation and photosynthetically active radiation on plants (Tables 2 and 3). From the beginning and during the growth cycle of the crop, plants under red polycarbonate showed less chlorophyll content (Table

clorofila (Cuadro 4) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$), esto se debió a la nula radiación que recibieron las plantas en el espectro del color azul (400 a 570 nm) (Figura 1), y también menor cantidad de radiación PAR recibida por las plantas diariamente (Figura 3) y durante todo el ciclo de crecimiento (Cuadro 3), que tuvo un fuerte impacto en el contenido de clorofila.

4) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$), this was due to the zero radiation received by plants in the blue spectrum (400-570 nm) (Figure 1), and also lower amount of PAR radiation received by plants daily (Figure 3) and during the growth cycle (Table 3), which had a strong impact on chlorophyll content.

Cuadro 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) integrada diaria (7:00 a 19:00 h) durante los meses del ciclo de crecimiento de la calabacita, bajo túneles de diferentes colores y materiales.

Table 3. Photosynthetically active radiation (PAR) integrated daily (7:00 to 19:00 h) during the months of crop growth cycle of zucchini, under tunnels of different colors and materials.

Fecha	Número de días	Radiación PAR acumulada (mol m ⁻²)			
		Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
28-30 noviembre de 2015	3	30.55	21.71	17.96	8.59
1-31 diciembre de 2015	15	568.91	407.62	329.29	165.4
1-31 enero de 2016	31	639.61	463.61	370.88	185.86
1-18 febrero de 2016	18	518.81	381.55	308.79	156.24
Total	83	1757.87	1274.49	1026.92	516.1

Cuadro 4. Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de un cultivo de calabacita (cv Zucchini) bajo túneles con diferente color y material de cubierta.

Table 4. Chlorophyll relative content (SPAD units) of a zucchini crop (cv Zucchini) under tunnels with different color and cover material.

Color de la cubierta	27 de noviembre de 2015	11 de diciembre de 2015	23 de diciembre de 2015	8 de enero de 2016	22 de enero de 2016	5 de febrero de 2016
Policarbonato claro	27.27 a	33.52 a	37.57 a	36.67 a	35.92 a	37.62 ab
Policarbonato azul	25.82 ab	31.47 b	34.75 b	32.07 c	35.87 a	37.25 ab
Polietileno	27.12 ab	30.62 b	33.7 b	33.35 b	32.55 b	38.4 a
Policarbonato rojo	25.37 b	27.22 c	28.97 c	28.37 d	35.65 a	34.82 b

Medias con letra diferente dentro de las columnas son estadísticamente diferentes (Kruskal-Wallis $\alpha \leq 0.05$).

Por ejemplo, estudios realizados por Trouwborst (2016), observaron que las plantas de pepino tuvieron un menor contenido de clorofila cuando crecieron en condiciones de luz roja (638 nm). Resultados similares fueron obtenidos por Su *et al.* (2014) en un estudio realizado también en plántulas de pepino donde observaron un menor contenido de clorofila bajo luz roja (658 nm) en comparación con las plántulas expuestas a luz azul (460 nm). El menor contenido de clorofila en las plantas bajo el polietileno rojo, se puede manifestar en un menor crecimiento y rendimiento de frutos por las plantas.

For example, studies by Trouwborst (2016), found that the cucumber plants had lower chlorophyll content when grown under conditions of red light (638 nm). Similar results were obtained by Su *et al.* (2014) in a study also conducted on cucumber seedlings where they observed a lower chlorophyll content under red light (658 nm) compared with seedlings exposed to blue light (460 nm). The lower content of chlorophyll in the plants under the red polyethylene, can be manifested as a lower growth and yield of fruits by the plants.

Crecimiento de las hojas

Las plantas que crecieron bajo el túnel con cubierta de policarbonato de color claro, recibieron mayor radiación PAR (Cuadro 3) y tuvieron el mayor desarrollo de número de hojas y área foliar (Cuadros 5 y 6) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$), lo que indica una relación directa entre estas variables. Por el contrario, las plantas bajo el policarbonato rojo, tuvieron la menor incidencia de radiación PAR (Cuadro 3), con nula radiación en la banda de 400 a 575 nm, que resultó en menor número de hojas y de área foliar (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$). El área foliar de las plantas en el túnel con cubierta de polietileno de alta densidad fue igual al de las plantas en el túnel con policarbonato azul en las diferentes fechas de muestreo a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Cuadro 6) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$). Estudios realizados por Casierra *et al* (2012) mostraron que en un cultivo de fresa (*Fragaria* sp.) el uso de cubiertas de polipropileno de color rojo, verde y azul, aumentaron el área foliar con respecto al observado en las plantas sin cubierta. Observaron también que de las plantas que crecieron bajo las cubiertas de polipropileno, las del color rojo tuvieron el menor desarrollo.

Leaf growth

The plants grown under the tunnel with light colored polycarbonate cover, received more radiation PAR (Table 3) and showed the highest development of leaf number and leaf area (Tables 5 and 6) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$), indicating a direct relationship between these variables. On the contrary, plants under red polycarbonate, showed the lowest PAR radiation incidence (Table 3), with zero radiation of 400 to 575 nm band, resulting in fewer leaves and leaf area (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$). The leaf area of the plants in the tunnel with a high density polyethylene cover was the same as that of the plants in the blue polycarbonate tunnel at the different sampling dates through the crop growth cycle (Table 6) (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$). Studies conducted by Casierra *et al.* (2012) showed that in a strawberry crop (*Fragaria* sp.) the use of red, green and blue polypropylene covers increased the leaf area compared to that observed in the uncovered plants. They also observed that of the plants that grew under the polypropylene covers, those of the red color had the lowest development.

Cuadro 5. Número de hojas de las plantas de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni, en crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

Table 5. Number of leaves of plants of a zucchini crop (*Cucurbita pepo* L.), variety Zuchinni, growing in tunnels of different materials and colors.

Fecha	Numero de hojas			
	Policarbonato claro	Polietileno	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
23 de diciembre 2015	9.75 a	7.25 bc	7.5 b	6.5 c
8 de enero 2016	15 a	11.5 bc	12 b	10.5 c
22 de enero 2016	20.25 a	15.25 b	15 b	14.25 b
5 de febrero 2016	25 a	18 bc	20.25 ab	15.5 c

Medias con letra diferente dentro de las hileras son estadísticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$).

Cuadro 6. Área foliar de las plantas de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni, en crecimiento bajo túneles de diferentes materiales y colores.

Table 6. Leaf area of a zucchini plants crop (*Cucurbita pepo* L.), variety Zuchinni, growing in tunnels of different materials and colors.

Fecha	Área foliar promedio de las plantas (m ²)			
	Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
23 de diciembre 2015	4.175 a	2.098 b	2.204 b	1.402 c
8 de enero 2016	14.158 b	7.054 b	7.307 b	4.414 c
22 de enero 2016	14.31 a	9.72 b	8.962 b	7.417 c
5 de febrero 2016	18.098 a	12.475 b	10.986 b	7.775 c

Medias con letra diferente dentro de las hileras son estadísticamente diferentes (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$).

Rendimiento de fruto

Debido que la maduración para el corte de frutos y el rendimiento fue desigual entre los túneles de diferentes colores, los datos son resultado de la suma de 10 cortes realizados. Las plantas que crecieron en el túnel con cubierta de polietileno claro, que recibieron mayor cantidad de radiación PAR (Cuadro 3) y que tuvieron mayor contenido de clorofila durante el crecimiento de las plantas (Cuadro 4), fueron de mayor precocidad y rendimiento (frutos totales por túnel) (Figura 4). Por el contrario, las plantas bajo el túnel de policarbonato de color rojo que recibieron menor radiación PAR (Cuadro 3), y con menor contenido de clorofila en la mayor parte del ciclo de crecimiento (Cuadro 4), el rendimiento de frutos fue nulo. El diámetro, longitud y peso promedio de frutos fue igual (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$) entre los túneles de policarbonato claro, polietileno de alta densidad y policarbonato azul (Figura 4). Resultados similares de Kitta *et al.* (2014) en chile pimienta (*Capsicum annum* L.) bajo mallas de diferentes colores (perla, verde y blanco) con 78, 62 y 59% de transmitancia de radiación PAR respectivamente. La malla con color perla tuvo mayor transmitancia fue de mayor rendimiento de fruto y materia seca. Mientras que la malla de color blanco, de menor transmitancia y rendimientos menores.

Fruit yield

Since the maturation for cutting the fruits and the yield was very uneven between tunnels of different colors, the data showed are the result of the sum of 10 cuts. Plants grown in the tunnel with clear polyethylene cover received the highest quantity of PAR radiation (Table 3) and had higher chlorophyll content during the growth cycle of the plants (Table 4), showed greater precocity and yield (total number of fruits per tunnel) (Figure 4). On the contrary, the plants under the red polycarbonate tunnel received less PAR radiation (Table 3), and showed the lowest chlorophyll content in most of the growth cycle (Table 4), fruit yield was null. The diameter, length and average fruit weight was equal (Kruskal-Wallis, $\alpha \leq 0.05$) between tunnels of clear polycarbonate, high density polyethylene and blue polycarbonate (Figure 4). Similar results were reported by Kitta *et al.* (2014) in a chili pepper crop (*Capsicum annum* L.) under different color meshes (pearl, green and white) with 78, 62 and 59% of PAR radiation transmittance respectively. The pearl colored mesh that showed the highest transmittance was the one of greater fruit yield, and dry matter. While the white mesh, of lower transmittance showed smaller yields.

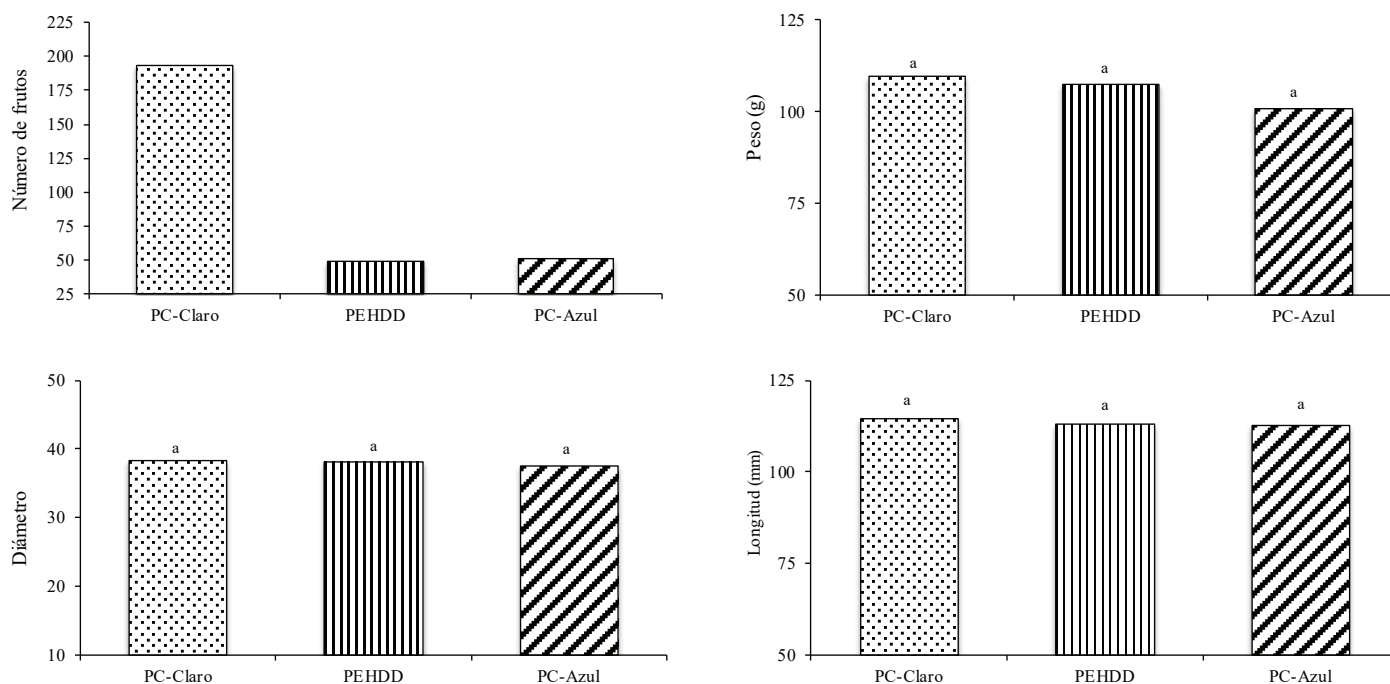


Figura 4. Rendimiento y calidad de frutos de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni, bajo crecimiento en túneles de policarbonato (PC) de diferentes colores y polietileno de alta densidad (PEHDD).

Figure 4. Yield and fruit quality of a zucchini crop (*Cucurbita pepo* L.), variety Zuchinni growing under tunnels of polycarbonate (PC) of different colors and high density polyethylene (PEHDD).

Conclusiones

La cubierta de policarbonato de color claro, tuvo una mayor transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que resultó en un mayor contenido de clorofila, mayor desarrollo foliar y rendimiento de fruto. Por el contrario, las plantas bajo el policarbonato de color rojo recibieron la menor cantidad de radiación PAR, con nula o muy baja incidencia de radiación en la longitud de onda del color azul, tuvieron el menor contenido de clorofila, menor desarrollo foliar y sin rendimiento de frutos.

Literatura citada

- Bagdonavičienė, A.; Brazaitytė, A.; Jankauskienė, J.; Vaštakaitė, V. and Duchovskis, P. 2015. Effect of the photosynthetic photon flux density of industrial light-emitting diode lamps on assimilative indices in salad and vegetable transplants. *Žemės ūkio Mokslai*. 22(4):173-180.
- Casierra, P. F.; Matallana, D. and Zapata, E. 2014. Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by coloured covers. *Healthy plants*. 66(4):149-155.
- Casierra, P. F.; Peña, O. J. E. and Ulrichs, C. 2012. Basic growth analysis in strawberry plants (*Fragaria* spp.) exposed to different radiation environments. *Agron. Colomb.* 30(1):25-33.
- Escobar, J.; Combes, D.; Rakocevic, M.; de Berranger, C.; Eprinchard, A.; Sinoquet, H. and Varlet, C. 2009. Functional relationships to estimate morphogenetically active radiation (MAR) from PAR and solar broadband irradiance measurements: the case of a sorghum crop. *Agric. Forest Meteorol.* 149(8):1244-1253.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. <http://www.fao.org/fao.org/es/QC/visualize>.
- Grbic, N.; Paschko, K.; Pinker, I. and Böhme, M. H. 2016. Effect of different light spectra by using coloured plastic films on growth, fresh and dry matter, nutrient solution uptake and secondary metabolites of *Perilla frutescens* (L.). *Amsterdam Britt. Sci. Hortic.* 210:93-98.
- Hogewoning, W.; Wientjes, E. and Douwstra, P. 2012. Photosynthetic quantum yield dynamics: from photosystems to leaves. *Plant Cell*. 24(5):1921-1935.
- Illic, S.; Milenković, L.; Šunić, L. and Fallik, E. 2015. Effect of coloured shade nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *J. Sci. Food Agric.* 95(13):2660-2667.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2016. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19044a.html>.
- Jongschaap, E.; Dueck, A.; Marissen, N.; Hemming, S. and Marcelis, M. 2006. Simulating seasonal patterns of increased greenhouse crop production by conversion of direct radiation into diffuse radiation. *Acta Hortic.* 718:315-322.

Conclusions

The light-colored polycarbonate cover, showed a higher photosynthetically active radiation (PAR) transmittance which resulted in a higher chlorophyll content, increased leaf development and fruit yield. On the contrary, plants under red polycarbonate received the least amount of PAR radiation, with no or very low incidence of radiation in the blue wavelength, and showed the lowest chlorophyll content, lower leaf development and without fruit yield.

End of the English version



- Kitta, E.; Baille, A. D.; Katsoulas, N.; Rigakis, N. and González, R. M. 2014. Effects of cover optical properties on greenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Bios. Eng.* 122:115-126.
- Lamont, J. 2009. Overview of the use of high tunnels worldwide. *HortTechnol.* 19(1):25-29.
- Lin, C. 2000. Plant blue-light receptors. *Trends Plant Sci.* 5(8):337-342.
- Martínez, A.; Santana, L.; Ortiz, Y.D.; Morales, I. and Gutiérrez, F. 2016. Growth and oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.) grown under colored shade nets. *Interciencia.* 41(6):428-432.
- McCree, J. 1971. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorol.* 9:191-216.
- Mota, S.; Amarante, T. D.; Santos, D. and Albuquerque, A. 2009. Water supply, solar radiation and photosynthesis in 'Cabernet Sauvignon' grapevines under plastic covering. *Braz. Magazine of Hortic.* 31(2):432-439.
- Oliveira, C.; Vieira, L.; Bertolli, C. and Pacheco, C. 2016. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean J. Agric. Res.* 76(1):123-128.
- Ombodi, A.; Zoltán, K.; Szuvandzsiev, P.; Taskovics, T.; Koházi, K. A.; Kovács, A. and Helyes, L. 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.
- Retamal, J.; Bastías, M.; Wilckens, R. and Paulino, L. 2015. Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in Blueberry O Neal. *Chilean J. Agric. Res.* 75(3): 291-297.
- Rogers, A. and Wszelaki, L. 2012. Influence of high tunnel production and planting date on yield, growth, and early blight development on organically grown heirloom and hybrid tomato. *HortTechnol.* 22(4):452-462.
- Rouphael, Y. and Colla G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse Zucchini squash in relation to different climate parameters. *Eur. J. Agron.* 23(2):183-94.

- Sales, A.; Barbosa, J.; Barbosa, P.; Viana, V. and Freitas, A. 2014. Agricultural nets as undercover in hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*). *Rural Sci.* 44(10):1755-1760.
- Sandri, M. A.; Andriolo, J. L.; Witter, M. and Dal Ross, T. 2003. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. *Hortic. Bras.* 21(4):642-645.
- Santos, M. and Salame, P. 2012. Performance of southern highbush blueberry cultivars under high tunnels in Florida. *Hort. Technol.* 22(5):700-704.
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). 2016. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>.
- Smith, H., 2000. Phytochromes and light signal perception by plants an emerging synthesis. *Nature.* 407 (6804):585-591.
- Su, N.; Wu, Q.; Shen, Z.; Xia, K. and Cui, J. 2014. Effects of light quality on the chloroplastic ultrastructure and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings. *Plant Growth Reg.* 73(3):227-235.
- Trouwborst, G.; Hogewoning, W.; Van Kooten, O.; Harbinson, J. and Van Ieperen, W. 2016. Plasticity of photosynthesis after the 'red light syndrome' in cucumber. *Environ. Exp. Bot.* 121:75-82.
- Zhao, Y.; Gu, M.; Bi, G.; Evans, B. and Harkess, R. 2014. Planting date effect on yield of tomato, eggplant, pepper, zinnia, and snapdragon in high tunnel in Mississippi. *J. Crop Improv.* 28(1):27-37.