

Crecimiento, rendimiento y calidad de chile habanero bajo condiciones de malla sombra de diferentes colores

Growth, yield and quality of habanero chili grown under shade nets of different colors

Ana María Castillo-González^{1*}, Eduardo Ortiz-Mendoza¹, Luis Alonso Valdez-Aguilar², Edilberto Avitia-García¹, María del Rosario García-Mateos¹, Ma. Carmen Ybarra-Moncada³

²¹Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230.

²Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo. Coahuila. CP 25315.

³Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230.

*Correspondencia: anasofiacasg@hotmail.com (Ana María Castillo-González)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v19i1.1662>

Recibido: 17 de septiembre de 2024; Aceptado: 16 de diciembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) destaca por su alto nivel de pungencia y alto contenido de compuestos antioxidantes. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de mallas de diferentes colores sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto, para determinar la mejor opción en un sistema de producción alternativo para chile habanero en invernadero. El cultivo se estableció en invernadero de cristal con un sistema hidropónico abierto. Se utilizaron semillas de chile habanero 'Mayan Ba'alché'. Los tratamientos consistieron en el uso de mallas de colores verde, beige, azul, negro y sin malla (testigo). Se evaluó el peso fresco y seco de la parte aérea, raíz y frutos, área foliar, peso específico, concentración de azúcares solubles totales y compuestos fenólicos en hoja; en frutos se determinó la concentración de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante. Con la malla beige se incrementó en 22 % el peso seco de la parte aérea, en relación al testigo. Asimismo, el testigo presentó 37 % más peso seco de raíz y 25 % más peso específico de hoja que los tratamientos con malla de color. El área foliar fue superior a la del testigo con todas las mallas. Con la malla beige se obtuvo 15 % más de fruto, 16 % más de peso fresco y 40

% más de flavonoides; por lo que, podría ser una alternativa de producción de chile habanero en invernadero.

Palabras clave: *Capsicum chinense*, capacidad antioxidante, flavonoides, fenoles, azúcares solubles totales.

Abstract

Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) outstands for its high level of pungency and high content of antioxidant compounds. The aim of this study was to evaluate the effect of nets of different colors on vegetative growth, yield, and fruit quality, in order to determine the best option for an alternative production system for habanero peppers under greenhouse. The crop was established in a glass greenhouse with an open hydroponic system. Seeds of the 'Mayan Ba'alché' habanero pepper were utilized. Treatments consisted on the use of green, beige, blue, and black nets, and without a net (control). The study assessed the fresh and dry weight of the aerial part, roots, and fruits, foliar area, specific weight, concentration of total soluble sugars and phenolic compounds in the leaves. The concentration of phenolic compounds, total flavonoids, and antioxidant capacity were determined in fruits. The use of the beige net resulted in a 22 % increase in the dry weight of the aerial part, as compared to the control. The control treatment presented a 37 % increase in dry root weight and a 25 % increase in specific leaf weight compared to the treatment with the colored nets. The foliar area of plants under all colored nets, was larger than the control. Fruits treated with the beige net yielded a 15 % increase in quantity, a 16 % increase in weight, and a 40 % increase in flavonoid content; therefore, it can be an alternative for production of habanero chili in greenhouse.

Keywords: *Capsicum chinense*, antioxidant capacity, flavonoids, phenols, total soluble sugars.

1. Introducción

Los chiles son cultivados ampliamente en el mundo y son altamente apreciados por su sabor como especia y valor nutricional (Heuvelink y Körner, 2001). Por la diversidad de condiciones agroclimáticas, en México existe una gran variedad de chiles, entre los cuales destaca el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), el cual es un producto hortícola de suma importancia para el país como producto de consumo nacional y de exportación a Estados Unidos y Canadá, principalmente (Latournerie *et al.*, 2002). Este chile es uno de los chiles más picantes que se conocen (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005). En México la superficie cosechada es de 1,619 ha con una producción de 31,297.47 t en 2022; en donde destacan los estados de Sinaloa (8,734 t), Campeche (4,737 t), Yucatán (4,325 t), Tabasco (2,720 t), Veracruz (2,301 t), Quintana Roo (2,065 t), Chiapas (1,954 t) y Nayarit (1,011 t) (SIAP, 2023). El creciente mercado internacional para el chile habanero, ha incrementado la demanda por frutos más picantes y grandes (Carballo-Bautista *et al.*, 2010), por lo que es necesario buscar alternativas de producción que permitan satisfacer a los mercados nacionales y extranjeros.

Las mallas de color o fotoselectivas, representan un nuevo concepto tecnológico que tiene como objetivo combinar la protección física, junto con la filtración diferencial de la radiación solar, para promover respuestas fisiológicas deseadas que son reguladas por la luz (Shahak *et al.*, 2008). Las mallas sombra se usan en numerosos cultivos hortícolas para protegerlos de la radiación solar

excesiva, del viento, granizo y pájaros; además de disminuir las enfermedades virales transmitidas por aves e insectos; también tienen influencia en el crecimiento de las plantas por modificar las condiciones micro climáticas (Basile *et al.*, 2012). Los diferentes niveles de sombreo y de la calidad de la luz obtenidas con el uso de mallas de colores, pueden alterar la morfología y los procesos fisiológicos (tasa fotosintética) y bioquímicos, así como el contenido y tipo de metabolitos secundarios en las plantas (Mahmood *et al.*, 2018). Otros efectos benéficos de estas mallas son la obtención de mayor rendimiento y mejor calidad del fruto (Wallace *et al.*, 2012). Actualmente, las mallas pueden ser de color verde, blanco, rojo, azul, negro y gris y su uso está en aumento, por lo que es necesario definir el color de malla que permita obtener los mejores beneficios para cada cultivo. En el caso del chile habanero, el uso de esta tecnología es escasa y es necesario evaluar el impacto que tiene en su crecimiento, rendimiento y calidad del fruto, por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de mallas de diferentes colores (negro, beige, verde y azul) en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero de cristal, ubicado en Chapingo, Texcoco, Estado de México, entre las coordenadas 19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a 2,240 m de altitud. Las plantas se obtuvieron a partir de semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) 'Mayan Ba'alché', las cuales se sembraron en semilleros de 200 cavidades con sustrato formado por la mezcla de perlita y turba en proporción 1:1 v/v. Cuando las plántulas tuvieron de 4 a 5 hojas verdaderas, se trasplantaron a bolsas negras de 12 L de capacidad (una planta por bolsa), con tezontle rojo de partícula fina (3 a 4 mm) como sustrato. El cultivo se estableció en un sistema hidropónico abierto bajo invernadero. Las plantas se desarrollaron durante siete meses, bajo la cubierta de mallas sombra de colores: verde, azul, beige y negro de monofilamento con 80 % de sombreo, adquiridas en Prosagri S.A de C.V. Las mallas se colocaron sobre soportes de madera a una altura de 1.7 m, 1.2 m de ancho y 2.5 m de largo, cubriendo en su totalidad por los cuatro lados al cultivo.

Los riegos se hicieron diariamente de forma manual con la solución nutritiva de Steiner (1984); a partir del trasplante, los riegos se hicieron con la solución nutritiva al 30 % de su concentración por dos semanas; posteriormente, la concentración se aumentó al 50 % por otras dos semanas, después al 100 % por el resto del ciclo, con pH de 5.7 y CE de 2.3 dS m⁻¹ (Macías *et al.*, 2013). El volumen de riego diario de la solución fue de 400 mL, con drenaje aproximado del 30 %. Las temperaturas (° Celsius) máximas y mínimas promedio para cada malla (tratamiento) fueron: verde 31.6 y 9.0, beige 32.3 y 9.0, azul 32.13 y 9.0, negra 31.6 y 8.9, testigo (sin malla) 33.0 y 8.9. La humedad relativa (%) máxima y mínima fue: verde: 71.2 y 29.7, beige 70.5 y 28.9, azul 70.6 y 28.9, negra 71.0 y 29.1 y testigo 69.1 y 26.5. Los factores climatológicos mencionados se registraron con un datalogger Elitech® RC-51H (CA, EE.UU.) También se registró la cantidad de luz que recibieron las plantas bajo cada tratamiento, con un luxómetro Phytotronics, Inc. MO EE. UU. a las 12:30 del día en tres puntos del área del cultivo (en dos extremos y en el centro). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en una planta.

Las variables evaluadas fueron: 1) Altura de planta, con un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice. 2) Diámetro de la base del tallo, con un vernier digital TRUPER® (México). 3) Peso fresco y seco de la parte aérea (tallo con hojas) y raíz, se registró con una balanza OHAUS® modelo Scout Pro (New Jersey, EE. UU.), estas variables se registraron en cinco plantas por tratamiento. 4) Área foliar

por hoja, se midió con un integrador de área foliar LICOR® 3100 (Lincoln, EE. UU.) y de las cinco plantas por tratamiento, se colectaron de 5 a 7 hojas de reciente maduración (hojas fuente). 5) Peso específico de hoja; se obtuvo dividiendo el peso seco por el área foliar de las hojas antes mencionadas. 6) Concentración de azúcares solubles totales en hoja, se determinó en cinco hojas de reciente maduración por planta; en las cinco repeticiones por tratamiento, se siguió el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971). Las lecturas se realizaron a 600 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic GENESYS® 10 UV (New York, EE. UU.) con una curva patrón de 0 a 250 µg de glucosa mL⁻¹. 7) Concentración de pigmentos fotosintéticos, se determinó la concentración de clorofila a, b y carotenoides en cinco hojas de reciente maduración, de cinco repeticiones por tratamiento. Se siguió el método descrito por Witham *et al.* (1971), la absorbancia se leyó a 663, 645 y 470 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic GENESYS® 10 UV (New York, EE. UU.). 8) Concentración de fenoles totales, se determinó en cinco hojas de reciente maduración (hojas fuente) por planta, de cinco repeticiones por tratamiento; se siguió el método descrito por Waterman y Mole (1994). 9) Número de frutos por planta, se cuantificaron los frutos de cada cosecha. 10) Peso fresco de fruto, se registró de todos los frutos por planta, con una balanza digital OHAUS® modelo Scout Pro (New Jersey, EE. UU.). 11) Concentración de flavonoides totales en fruto, se determinó en cinco frutos maduros por planta, en las cinco repeticiones por tratamiento con el método de Chang *et al.* (2002). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco (mg EQ 100 g⁻¹ p. f.). 12) Concentración de fenoles totales en fruto, se determinó con el método de Waterman y Mole (1994), en cinco frutos maduros por planta. La concentración se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg EAG 100 g⁻¹ p. f.). 13) Capacidad antioxidante en fruto, se determinó en cinco frutos por planta; se determinó con el método FRAP descrito por Benzie y Strain (1996). El análisis estadístico de los datos consistió en análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), con el paquete estadístico SAS System versión 9 (SAS Institute inc., 2006).

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presenta la radiación en luxes, que se presentó bajo cada malla de color durante el ciclo del cultivo. El tratamiento testigo presentó la mayor radiación en promedio (1427 luxes), la malla verde fue la que limitó más el paso de luz (546.7 luxes).

Tabla 1. Radiación solar (luxes) promedio por mes y por tratamiento, durante el crecimiento de chile habanero cultivado en invernadero con malla sombra de diferentes colores.

Table 1. Average solar radiation (luxes) per month and per treatment, during growth of habanero chili grown in a greenhouse under shade nets of different colors.

Mes	Testigo	Malla beige	Malla negra	Malla azul	Malla verde
Julio	1434.4	924.4	795.9	1003.3	624.4
Agosto	1557.8	779.8	676.7	774.4	591.8
Septiembre	1410.0	716.2	627.9	770.3	606.2
Octubre	1378.4	943.1	800.5	969.9	481.2
Noviembre	1540.3	708.3	644.1	760.0	529.7
Diciembre	1311.8	641.7	549.9	689.4	467.4
Enero	1357.3	620.0	536.7	675.5	526.5
Promedio	1427.1	761.9	661.7	806.1	546.7

La altura de la planta disminuyó 12.2 cm y el diámetro 4.68 mm con la malla verde en relación al testigo sin malla; con las demás mallas las alturas fueron estadísticamente similares a la del testigo; mientras que con la malla beige se registró un diámetro estadísticamente similar al del testigo, aunque numéricamente inferior. El peso fresco de la parte aérea con la malla beige fue estadísticamente similar al del testigo; el menor peso (43 % menor que el de las plantas sin malla) se registró con la malla verde, esto puede deberse al menor crecimiento de las plantas bajo la malla verde (Tabla 2), por efecto de la menor temperatura y menor cantidad de luz recibida a través esta malla. El peso seco de la parte aérea con las mallas beige y azul fue similar estadísticamente al del testigo; los menores pesos (42 y 54 % menos que el del testigo) se obtuvieron con las mallas negra y verde (Tabla 2). El peso fresco de la raíz fue superior en las plantas sin malla y el menor peso lo tuvieron las raíces de las plantas con las mallas negra y verde; con esta última, la disminución fue del 82 % en relación al testigo. El peso seco del sistema radical fue mayor en las plantas sin malla, y nuevamente, los menores pesos se registraron con las mallas negra y verde; con esta última malla, el peso fue 87 % menor al del testigo (Tabla 2).

Tabla 2. Altura de planta, diámetro de la base del tallo, peso fresco (PFA) y seco (PSA) de la parte aérea y raíz (PFR, PSR) de plantas de chile habanero cultivadas en invernadero bajo malla sombra de diferentes colores.

Table 2. Plant height, diameter of the stem base, fresh (PFA) and dry (PSA) weight of the aerial part and root (PFR, PSR) of habanero chili plants grown in a greenhouse under shade nets of different colors.

Tratamiento color de malla	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (mm)	PFA (g)	PSA (g)	PFR (g)	PSR (g)
Testigo	124.6 ab ^z	14.24 a	355.04 a	92.28 a	162.84 a	56.05 a
Beige	154.6 a	12.40 ab	421.12 a	112.24 a	125.36 b	34.98 b
Negra	144.2 a	10.41 bc	231.30 bc	52.56 b	33.78 d	10.29 c
Azul	133.2 ab	11.31 bc	342.26 ab	90.16 a	89.44 c	22.57 b
Verde	112.4 b	9.56 c	199.96 c	42.08 b	29.44 d	7.34 c

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05).

A pesar de la mayor cantidad de luz recibida por las plantas sin malla (1,427 luxes, en promedio) (Tabla 1), que podría estresar a la planta, el crecimiento vegetativo no fue afectado. Entre las mallas, la beige con una cantidad intermedia de luz (762 luxes), fue la que favoreció un mejor crecimiento de las plantas, sin superar a los resultados del testigo. Las mallas fotoselectivas generan cambios en la calidad y cantidad de la luz transmitida (Basile *et al.*, 2012) y ocasionan diversas respuestas fisiológicas y morfológicas en las plantas; estos cambios en la luz son percibidos por fotorreceptores como clorofilas, carotenoides, fitocromos (rojo y rojo lejano), criptocromos y fototropinas (Duduzile-Buthelezi *et al.*, 2016). Dentro de las respuestas morfológicas se ha observado la elongación celular de los pecíolos, con reducción del grosor de la pared celular, como se observó en *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Sasidharan *et al.*, 2010). La elongación de los tallos, con entrenudos más largos se observó en arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo malla negra, que superó al efecto de las mallas blanca, gris y roja (Retamales *et al.*, 2008). Los resultados del presente estudio con chile habanero, no coinciden con lo reportado por estos autores, dado que con las mallas verde y negra se registró el menor crecimiento; sin embargo, coinciden con los observados en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) var. Tecozautla, en donde con la malla beige se incrementó la altura y diámetro del tallo

(Morales *et al.*, 2018); este efecto también se observó en plantas jóvenes injertadas de naranjo [injertos de naranjo dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osb). var Valencia sobre portainjertos de naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.)], pero con mallas roja, perla y amarilla (Zhou *et al.*, 2018). El alargamiento celular con reducción en el grosor de la pared celular (Sasidharan *et al.*, 2010) inducido por el sombreado, comprende una red compleja de regulación transcripcional a nivel de proteínas reguladas por fotorreceptores que involucran factores de transcripción básicos, en donde se incluyen genes que codifican para la síntesis de hormonas como auxinas, ácido giberélico y brasinoesteroides que promueven el crecimiento de los tallos (Casal, 2013).

El área foliar de las hojas de reciente maduración (hojas fuente), fue similar estadísticamente en todas las mallas (Tabla 3). La mayor área foliar se presentó con la malla verde (135.13 cm²), 70.8 % superior al testigo; mientras que el peso específico de las hojas fue mayor en el testigo (con 3.75 mg cm²), valor estadísticamente igual al de la malla beige; y estadísticamente diferente a los de los otros tratamientos (Tabla 3). La sombra generada con las mallas de colores promovió cambios morfológicos en las hojas del chile habanero, como mayor tamaño de la lámina foliar pero más delgadas, lo que puede relacionarse con el menor peso específico observado en esta investigación. Esto coincide con lo indicado por Taiz *et al.* (2015) quienes observaron que las hojas bajo sombra son más delgadas que las que están directamente iluminadas por el sol. Las hojas sombreadas tienen cutícula más delgada, menos parénquima esponjoso y una sola capa de parénquima en empalizada (Crang *et al.*, 2018). Estos cambios podrían ser una respuesta de adaptación a la cantidad y calidad de la luz en el ambiente de crecimiento de las plantas. Las hojas con la malla beige y negra presentaron las mayores concentraciones de azúcares solubles totales (AST), pero similares estadísticamente a la concentración de las hojas sin malla (Tabla 3). Esto podría indicar que, aunque las hojas bajo las mallas eran más grandes y delgadas que las del testigo, su capacidad fotosintética no se afectó por la cantidad de luz (luxes) recibida, por lo que presentaron azúcares que pueden translocarse a los puntos demandantes. Este fenómeno se observó en plantas jóvenes de naranja que crecieron bajo mallas rojas, perla y amarillas, en donde se incrementó la fotosíntesis y crecimiento vegetativo de los árboles (Zhou *et al.*, 2018). Las hojas bajo sombra presentan mayor concentración de clorofila total y mayor proporción de clorofila b; en el caso del presente estudio los pigmentos fotosintéticos como clorofilas a, b y carotenoides, no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (datos no mostrados). Algunas especies tienen una respuesta adaptativa al sombreado de las hojas, que consiste en producir una mayor proporción de centros de reacción del PII que del PI, comparadas con hojas bajo el sol, lo que garantiza la absorción de luz y transferencia de energía en la fotosíntesis (Taiz *et al.*, 2015).

La concentración de fenoles totales en la hoja fue mayor en las hojas de la malla beige y del testigo; con las demás mallas las concentraciones fueron estadísticamente similares; no obstante, la concentración con la malla negra fue 77 % menor a la de las hojas sin malla y 82 % menor a las de la malla beige (Tabla 3). Estos resultados no coinciden con lo observado en cilantro (*Coriandrum sativum* L.), en donde con la malla negra se incrementaron los fenoles totales, los flavonoides, la actividad antioxidante y el ácido ascórbico en las hojas, lo que mejoró las características comerciales de la planta (Buthelezi *et al.*, 2016). Los compuestos fenólicos son antioxidantes producidos para combatir el efecto de las radiaciones nocivas de la luz solar (Ilic *et al.*, 2012), lo que indica que las plantas de chile habanero sin malla y con la malla beige estuvieron bajo estrés lumínico durante su crecimiento, lo que influyó en la concentración fenólica.

Tabla 3. Área foliar, peso específico de hoja, concentración de azúcares solubles totales (AST) y fenoles en hojas de chile habanero cultivado en invernadero bajo malla sombra de diferentes colores.

Table 3. Foliar area, leaf specific weight, concentration of total soluble sugars (AST), and phenolic compounds in the leaves of habanero chili plants grown in a greenhouse under shade nets of different colors.

Tratamiento color de malla	Área foliar (cm ²)	Peso específico hoja (mg cm ⁻²)	AST (mg g ⁻¹ de p.f.)	Fenoles totales mg EAG 100 g ⁻¹
Testigo	79.09 b ^z	3.75 a	9.81 ab	249.90 a
Beige	114.71 a	2.96 ab	11.23 a	317.22 a
Negra	132.04 a	2.12 b	11.32 a	56.69 c
Azul	101.66 ab	2.81 b	10.23 ab	66.22 bc
Verde	135.13 a	2.06 b	7.78 b	93.97 bc

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05).

El número de frutos por planta con la malla beige fue mayor y estadísticamente similar al del testigo; con las mallas negra y verde se registró una considerable disminución del 97 y 91 % en relación al testigo; en cambio, el mayor peso, longitud y diámetro del fruto se obtuvo con la malla negra y el menor con el testigo (Tabla 4). Las concentraciones de fenoles totales en el fruto fueron similares estadísticamente en el testigo y mallas beige, negra y azul. La concentración de flavonoides más baja se presentó en los frutos de las plantas sin malla y la más alta, cerca de tres veces mayor en los frutos con la malla negra. La mayor capacidad antioxidante la presentaron los frutos del tratamiento testigo y la menor la de los frutos producidos bajo malla azul y verde (Tabla 4).

Tabla 4. Características físicas del fruto y concentración de fenoles (mg EAG 100 g⁻¹), flavonoides (mg EQ 100 g⁻¹) y capacidad antioxidante (FRAP, μM ET 100 g⁻¹) en chile habanero cultivado en invernadero bajo malla sombra de diferentes colores.

Table 4. Physical characteristics of the fruit and concentration of phenols (mg EAG 100 g⁻¹), flavonoids (mg EQ 100 g⁻¹) and antioxidant capacity (FRAP, μM ET 100 g⁻¹) in habanero chili grown in a greenhouse under shade nets of different colors.

Tratamiento color de malla	Peso (g)	NF planta ⁻¹	LONGF (mm)	DIAF (mm)	FEN	FLAV	CPANT
Testigo	3.40 c ^z	58 a	22.00 c	20.10 c	78.45 a	16.04 d	1678.1 a
Beige	3.93 bc	67 a	28.65 b	22.67 bc	78.04 a	22.32 c	1047.6 bc
Negra	5.98 a	2 c	33.05 a	28.35 a	83.97 a	43.08 a	1246.8 b
Azul	4.36 abc	24 b	27.91 b	24.38 b	82.17 a	29.40 b	811.5 c
Verde	5.06 ab	6 c	30.99 ab	25.72 ab	58.95 b	26.61 b	944.9 c

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05). NF: número de frutos por planta; LONGF: longitud del fruto; DIAF: diámetro del fruto; FEN: fenoles; FLAV: flavonoides; CPANT: capacidad antioxidante.

De acuerdo con Shahak *et al.* (2008), algunas respuestas de la planta a la luz incluyen tiempo de cosecha, cuajado, rendimiento, tamaño y color de la fruta, así como la calidad interna y externa del

fruto. En esta investigación, el reducido número de frutos producidos bajo las mallas negra y verde, puede deberse al retraso de la floración que se observó con estas mallas a los siete meses, que fue el tiempo que duró el experimento. Sin embargo, los frutos producidos bajo estas dos mallas fueron más grandes y pesados (Tabla 4) que los de la malla beige y el testigo. Por otro lado, en kiwi [*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang y A.R. Ferguson] cultivado con las mallas blanca y roja, los frutos acumularon más peso, y con la roja los frutos fueron los de mayor tamaño (Basile *et al.*, 2012). Las mallas fotoselectivas de color perla mejoraron la calidad de la fruta, el tamaño y masa de fruto en tres cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Tinyane y Sivakumar, 2013). En arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.), el rendimiento se incrementó 95 % con malla blanca, con la negra se tuvo el más bajo valor con respecto al testigo (Retamales *et al.*, 2008), como se observó en el presente estudio con chile habanero. Pero, en arándano azul 'Elñiott' bajo malla blanca y roja, la cosecha se retrasó de 5 a 7 días, sin detrimento en la calidad del fruto (Lobos *et al.*, 2013). En kiwi cv. Hayward cultivado con mallas blanca, roja, azul y verde disminuyó la concentración de polifenoles y la actividad antioxidante del fruto a cosechar (Basile *et al.*, 2012).

Sin embargo, en el presente estudio, se observó lo contrario, sólo con la malla verde se tuvo disminución en los fenoles totales del fruto; los flavonoides se incrementaron con las mallas en comparación con el testigo, donde la negra promovió la mayor concentración; sin embargo, la capacidad antioxidante fue mayor en los frutos obtenidos sin malla (Tabla 4). La concentración de estos metabolitos es mayor en condiciones de estrés, por lo que contribuyen a una mayor actividad antioxidante, en comparación con los compuestos fenólicos presentes en tejidos vegetales no estresados (Heredia y Cisneros, 2009). En el caso del presente estudio con chile habanero, la mayor capacidad antioxidante de los frutos obtenidos sin malla y con la malla beige, pudo deberse al estrés ocasionado por la alta cantidad de luz recibida (Tabla 1); en cambio con la malla negra, el alto valor se debió al estrés ocasionado por el fuerte sombreo que recibieron las plantas.

4. Conclusiones

El color y el porcentaje de sombreo de las mallas influyeron significativamente en la transmisión de la radiación solar, lo que afectó el crecimiento, la fisiología, la producción de metabolitos secundarios, el rendimiento y la calidad del fruto de las plantas de chile habanero cultivadas en invernadero. El testigo sin malla, recibió la mayor radiación durante los siete meses que duró el estudio, mientras que la malla verde recibió la menor cantidad. La malla beige mejoró el crecimiento de las plantas, la concentración de azúcares en las hojas, el rendimiento y la capacidad antioxidante del fruto, lo que la convierte en una opción prometedora para la producción de chile habanero en invernadero.

Contribuciones de los autores

A.M.C.G. y **L.A.V.A.:** idea, dirección, ejecución y seguimiento del experimento; **E.O.M.:** estudiante del posgrado quien realizó la investigación; **E.A.G.:** establecimiento y manejo del cultivo en el invernadero; **M.R.G.M.:** realización de los análisis fitoquímicos; **M.C.Y.M.:** realización de los análisis estadísticos. Todos los autores revisaron el documento resultante de esta investigación y formaron parte del Comité Asesor del estudiante.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses para la publicación de este artículo.

5. Referencias

- Basile, B., Giaccone, M., Cirillo, C., Ritieni, A., Graziani, G., Shahak, Y., & Forlani, M. (2012). Photo-selective hail nets affect fruit size and quality in Hayward kiwifruit. *Scientia Horticulturae* 141: 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.022>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry Journal* 239(1): 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Buthelezi, M. N. D., Soundy, P., Jifon, J., & Sivakumar, D. (2016). Spectral quality of photo-selective nets improves phytochemicals and aroma volatiles in coriander leaves (*Coriandrum sativum* L.) after postharvest storage. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 161: 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.05.032>
- Carballo-Bautista, M. A., Moguel-Salazar, F., Brito-Argáez, L., Cristóbal-Alejo, J., & Islas-Flores, I. (2010). Breve descripción morfológica de un pequeño fruto interno que crece en el fruto principal del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 281-285. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.4.281>
- Casal, J. J. (2013). Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual Review of Plant Biology* 64: 403-427. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
- Cázares-Sánchez, E., Ramírez-Vallejo, P., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R. M., Rodríguez-González, M. T., & Chávez-Servia, J. L. (2005). Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39(6): 627-638. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239606>
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10(3): 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., & Wise, R. (Eds.). (2018). *Plant Anatomy A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- Duduzile, B. M. N., Soundy, P., Jifon, J., & Sivakumar, D. (2016). Spectral quality of photo-selective nets improves phytochemicals and aroma volatiles in coriander leaves (*Coriandrum sativum* L.) after postharvest storage. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 161: 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.05.032>
- Heredia, J. B., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry* 115(4): 1500-1508. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.078>

- Heuvelink, E., & Körner, O. (2001). Parthenocarpic fruit growth reduces yield fluctuation and blossom end rot in sweet pepper. *Annals of Botany* 88(1): 69–74. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1427>
- Ilić, Z.S., Milenković, L., Stanojević, L., Cvetković, D., & Fallik, E. (2012). Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. *Sci. Hort.* 139: 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.03.009>
- Latournerie, L., Chávez, J. L., Pérez, M., Castañón, G., Rodríguez, S. A., Arias, L. M., & Ramírez, P. (2002). Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(1): 25-33. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1342>
- Lobos, G. A., Retamales, J. B., Hancock, J. F., Flore, J. A., Romero-Bravo, S., & del Pozo, A. (2013). Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Scientia Horticulturae* 153: 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.012>
- Macías-Rodríguez, H., Muñoz-Villalobos, J. A., Velásquez-Valle, M. A., Potisek-Talavera, M. C., & Villa-Castorena, M. M. (2013). Chile habanero: Descripción de su cultivo en la Península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 12 (2): 37-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545057001>
- Mahmood, A., Hu, Y., Tanny, J., & Asante, E. A. (2018). Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae* 241: 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>
- Morales, I., Martínez-Gutiérrez, G. A., Escamirosa-Tinoco, C., Nájera, C., da Cunha-Chiamolera, T. P. L., & Urrestarazu, M. (2018). Production and Quality of *Physalis ixocarpa* Brot. Fruit under Colored Shade Netting. *HortScience* 53(6): 823-828. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13100-18>
- Retamales, J. B., Montecino, J. M., Lobos, G. A., & Rojas, L. A. (2008). Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. XXVII International Horticultural Congress - IHC2006: International Symposium on Cultivation and Utilization of Asian, Sub-tropical, and Underutilized Horticultural Crops. *Acta Horticulturae* 770: 193-198. https://www.actahort.org/books/770/770_22.htm
- SAS Institute inc. (2006). Base SAS 9.1.3 Procedures Guide. 2ª edition. Volumes 1, 2, 3 y 4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sasidharan, R., Chinnappa, C. C., Staal, M., Elzenga, J. T., Yokoyama, R., Nishitani, K., Voesenek, L. A., & Pierik, R. (2010). Light quality-mediated petiole elongation in *Arabidopsis* during shade avoidance involves cell wall modification by xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases. *Plant Physiology* 154(2): 978-990. <https://doi.org/10.1104/pp.110.162057>
- Shahak, Y., Ratner, K., Giller, Y. E., Zur, N., Or, E., Gussakovsky, E. E., Stern, R., Sarig, P., Raban, E., Harcavi, E., Doron, I., & Greenblat-Avron, Y. (2008). Improving solar energy utilization, productivity and fruit quality in orchards and vineyards by photoselective netting. XXVII International Horticultural Congress - IHC2006: International Symposium on Enhancing Economic and Environmental Sustainability of Fruit Production in a Global Economy. *Acta Horticulturae* 772: 65-72. https://www.actahort.org/books/772/772_7.htm

- SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
<https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. International Society for Soilless Culture. pp. 633-650. CABI Record Number: 19851996315.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (Eds.). (2015). *Plant Physiology and Development*. Sixth Ed. Sinauer Associates, Sunderland, CT. Inc. Publishers.
- Tinyane, P. P., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013). Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Scientia Horticulturae* 161: 340-349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.024>
- Wallace, R.W., Wszelaki, A. L., Miles, C. A., Cowan, J. S., Martin, J., Roozen, J., Gundersen, B., & Inglis, D. A. (2012). Lettuce yield and quality when grown in high tunnel and open-field production systems under three diverse climates. *HortTechnology* 22(5): 659–668. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.5.659>
- Waterman, P. G., & Mole, S. (Eds.). (1994). *Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Methods in Ecology*. Black Well Scientific Publications, Oxford, 73-99.
- Witham, F. H., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (Eds.). (1971). *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, 245.
- Zhou, K., Jerszurki, D., Sadka, A., Shlizerman, L., Rachmilevitch, S., & Ephrath, J. (2018). Effects of photoselective netting on root growth and development of young grafted orange trees under semi-arid climate. *Scientia Horticulturae* 238: 272-280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.054>

2025 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>