

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



COLOR DE LA CUBIERTA DE UN TÚNEL EFECTO EN RADIACIÓN,
CONTENIDO DE CLOROFILA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE
CALABACITA (*Cucurbita pepo*) cv. Zucchini.

Tesis

Que presenta MARTHA DEL ÁNGEL HERNÁNDEZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

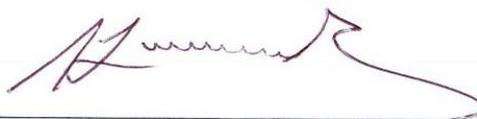
Saltillo, Coahuila.

Diciembre 2016

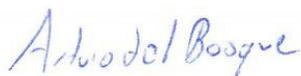
COLOR DE LA CUBIERTA DE UN TÚNEL EFECTO EN RADIACIÓN,
CONTENIDO DE CLOROFILA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE
CALABACITA (*Cucurbita pepo*) cv. Zucchini.

Tesis

Elaborada por MARTHA DEL ANGEL HERNANDEZ como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del comité de asesoría.



Dr. Alejandro Zemeño González
Asesor principal



Mc. Gustavo Arturo del Bosque Villarreal
Asesor



Dr. Juan Plutarco Munguía López
Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Posgrado

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido ser parte de esta noble institución y brindarme los conocimientos que ayudaron en mi formación.

Al Dr. Alejandro Zermeño González por todo el tiempo y apoyo dado para la realización de este trabajo de tesis. Con su aporte en lo académico y sus enseñanzas de vida.

A mis Asesores por su apoyo y disponibilidad en la revisión del presente trabajo. Al M.C. Gustavo A. del Bosque Villarreal por su apoyo para finalizar esta investigación, a los Doctores Juan Munguía López y Santos G. Campos Magaña por sus contribuciones.

A la empresa Grupo Alfa Tecnológico S.A de C.V. por permitirnos realizar la investigación y proporcionar todo lo necesario para su culminación.

A Ing. Abel Salas Partida por su disposición en la realización del trabajo de campo.

Al grupo de investigación por su apoyo en el trabajo de campo.

Al M.C Aaron Melendres Álvarez por su apoyo durante la realización de esta investigación.

A todo el pueblo trabajador que con sus contribuciones a la educación pública, me brindaron la oportunidad de poder seguir mis estudios en esta noble institución.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los que con su apoyo, moral, económico y de asesoría que lograron que finalizara esta etapa en mi vida.

Dedicado a mis padres y hermanos por todo su apoyo durante mis estudios de Maestría.

A todos mis amigos que han formado parte de mi trayectoria por esta Universidad.

Al equipo de Investigación que apoyaron en la realización de esta investigación, asesorados por el Dr. Alejandro Zermeño González.

INDICE GENERAL

Agradecimientos	iii
Dedicatoria.....	iv
Lista de cuadros	vi
Lista de figuras	vii
Resumen.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Abstrac	xi
INTRODUCCIÓN	1
REVISION DE LITERATURA	3
Agricultura protegida.....	3
Efecto de la Radiacion solar total y la Radiación Fotosintéticamente Activa en plantas.	6
Manejo del cultivo	7
Taxonomía y morfología.....	7
Requerimientos edafoclimáticos.....	7
MATERIALES Y METODOS	10
Ubicación del sitio de estudio.....	10
Establecimiento y manejo del cultivo	10
Instrumentación y mediciones realizadas	11
Crecimiento y rendimiento del cultivo	11
Evaluación estadística	12
RESULTADOS Y DISCUSION	13
Propiedades espectrales de las cubiertas plásticas.....	13
Radiación solar total incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles.....	16
Radiación fotosintéticamente activa incidente y transmitida en las cubiertas de los túneles... ..	18
Contenido de clorofila en las hojas	21
Crecimiento de las hojas de las plantas.....	22
Rendimiento de fruto de las plantas.....	24
CONCLUSIONES.....	26

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Magnitud de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) del espectro solar, que se transmite a través de cada material de cuatro macro túneles, y la relación porcentual con relación a la radiación PAR incidente sobre las cubiertas en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México	15
Cuadro 2. Radiación solar total integrada diaria (7:00 a 19:00 h) durante los meses del ciclo de crecimiento del cultivo de calabacita, con promedios de cada 30 minutos, dentro de cada túnel con cubierta de policarbonato celular color azul, rojo y claro y del plástico blanco en el municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México	18
Cuadro 3. Valores integrados diarios de la Radiación Fotosintéticamente Activa durante el ciclo de desarrollo de un cultivo de calabacita (Nov.2015-Feb. 2016) de 07:00-19:00 h. (promedios de cada 30 minutos) dentro de los túneles con cubierta de policarbonato celular de color rojo, azul y claro y de un plástico blanco, Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México	20
Cuadro 4. Contenido de clorofila a través de diferentes muestreos durante el desarrollo del cultivo de Calabacita, (Nov.2015-Feb. 2016) en los túneles con cubiertas de policarbonato celular de colores azul, rojo y claro y un plástico blanco, Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México	22
Cuadro 5. Número de hojas de las plantas de un cultivo de calabacita (<i>Cucurbita pepo</i> L.), variedad Zuchinni, bajo túneles con cubierta de policarbonato de diferente color rojo, azul y claro y del plástico blanco, Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México	23
Cuadro 6. Área foliar de las plantas de un cultivo de calabacita (<i>Cucurbita pepo</i> L.), variedad Zuchinni, por efecto de túneles con diferente color de cubiertas de policarbonato celular de color rojo, azul y claro y un plástico blanco, Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.....	23

Lista de Figuras

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 diferente color, y un túnel con polietileno de alta densidad, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.....	15
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 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.....	17
Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente (línea negra) y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro (línea morada), azul (línea azul), rojo (línea roja) y el polietileno de alta densidad (línea verde), entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.....	20
Figura 4. Parámetros del rendimiento de frutos de un cultivo de calabacita (<i>Cucurbita pepo</i> L.), variedad Zuchinni, bajo crecimiento en túneles de diferentes materiales y colores, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.....	25

Resumen

COLOR DE LA CUBIERTA DE UN TUNEL EFECTO EN RADIACIÓN,
CONTENIDO DE CLOROFILA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE
CALABACITA (*Cucurbita pepo* cv Zucchini).

Por

MARTHA DEL ÁNGEL HERNÁNDEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

ASESOR - DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ

Saltillo, Coahuila. México.

Diciembre 2016.

Resumen

La agricultura bajo cubiertas plásticas es una de las alternativas para eficientar la producción de hortalizas. Por lo anterior el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de cuatro colores y dos materiales de cubiertas de macrotúneles en el contenido de clorofila y las propiedades espectrales de las hojas, su relación con el crecimiento y rendimiento de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo*) cv. Zucchini. El estudio se realizó en el municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México, en el ciclo de producción Noviembre 2015-Febrero 2016, en tres túneles de policarbonato celular que corresponden a los colores rojo, azul y claro y uno de polietileno de alta densidad (PEHDD). Las propiedades espectrales de cada cubierta y la reflectancia de las hoja se evaluaron con un Espectroradiometro (400-900 nm), dentro de los túneles se instalaron sensores para la medición de la Radiación Solar Total (Rsw) medido con un Silicon Pyranometer y la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) con un Quantum sensor, el contenido de clorofila se determinó con un Spad 502. Los resultados muestran para la banda de la radiación PAR, el policarbonato de color rojo tuvo la menor transmisividad (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%).

Palabras clave: Policarbonato, Propiedades espectrales, Rsw, PAR, Clorofila.

Abstract

COLOR OF THE COVER OF AN EFFECTIVE TUNNEL IN RADIATION,
CHLOROPHYL CONTENT, GROWTH AND CALABACITA PERFORMANCE
(*Cucurbita pepo* cv Zucchini).

BY

MARTHA DEL ÁNGEL HERNÁNDEZ
MASTER OF SCIENCE PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
ADVISOR - DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZALEZ

SALTILLO, COAHUILA

DECEMBER, 2016.

Abstract

Agricultural under film plastic roofs is one of the alternatives for efficient production of vegetables. Therefore the objective of this study was to evaluate the effect of four colors and two tunnel cover materials on the chlorophyll content and the spectral properties of the leaves, its relation with the growth and yield of a culture of squash (*Cucurbita pepo*) Cv. Zucchini. The study was carried out in the Sabinas Hidalgo municipality, Nuevo León, Mexico, in the production cycle November 2015-February 2016, in three tunnels of polycarbonate cell that corresponds to the colors red, blue and clear and one of white polycarbonate. The spectral properties of each cover and the reflectance of the sheets were evaluated with a spectroadrometer in a range of 400-900 nm, within the tunnels were installed sensors for the measurement of Total Solar Radiation (Rsw) was measured with a Silicon Pyranometer And the Photosynthetic Active Radiation (PAR) with a Quantum sensor, the chlorophyll content was determined with a Spad 502. The results show the highest transmittance percentage was in the clear tunnel with 83.86%, the red tunnel 40.86%. That the colors blue and white had a similar behavior of 63.63 and 68.90%. The integrated PAR during the entire cycle of the cultivation in the clear tunnel was 1757.87, the target of 1274.49, the blue 1026.92 and the red of 516.10 mol / m².

Keywords: Polycarbonate, Spectral properties, Rsw, PAR, Chlorophyll.

INTRODUCCIÓN

En el mundo existe la necesidad de producir mayor cantidad de alimentos para una población creciente que demanda bienes del campo todo el año. La agricultura protegida es, de acuerdo a la SIAP (2016) más productiva y ofrece cultivos todo el año independientemente de la estación porque desarrolla sus cultivos controlando los factores externos, como la radiación, la temperatura, el agua y los fertilizantes, es aquella que se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas cultivadas, es un sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello, un alto rendimiento” (Huerta, 2012).

De acuerdo con el Atlas Agroalimentario 2015, en México existen 25,814 unidades de producción de agricultura protegida, de las cuales 65% son invernaderos, 10% son macro túneles, 10% micro túnel y 15% son casa sombra, techo sombra o pabellón. En las cuales se producen principalmente jitomate, pepino, pimientos, rosas y otros cultivos ornamentales, forestales y medicinales (SIAP 2016).

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 hortícolas, 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 en invernaderos y túneles, incluso los que a simple vista se ven iguales, pueden tener diversos niveles de transmitancia total y dar origen a diversos patrones en la transmitancia en cada rango de longitud de onda. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) se encuentra en el rango de 400 a 700 nm, pero el desarrollo fotomorfogénico en plantas es controlado por la relación entre la radiación recibida en el espectro del rojo (600-700nm) sobre la recibida en el espectro del rojo lejano (700-800nm), llamada relación rojo-rojo lejano, censada por los fitocromos (Smith, 2000)

y por la relación entre luz recibida en el espectro del azul (400-500nm) y del rojo, llamada relación azul - rojo (Lin, 2000).

Por otro lado, 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 diversas 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 (Hogewoning *et al*, 2012; Escobar-Gutiérrez, *et al*, 2009)

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 es una de las de mayor importancia para México, con un valor de producción de \$1 928 700 en el año 2014. México es el séptimo productor de calabacita a nivel internacional con una superficie sembrada de 24 962.90 has obteniendo una producción total de 413 953.87 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 diferentes cultivos hortícolas, pero pocos de ellos han evaluado el efecto del color de la cubierta plástica en la magnitud y características espectrales de la radiación que incide sobre las plantas, y en el contenido de clorofila. Por lo que, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de cuatro colores y dos materiales de cubiertas de túneles en las características espectrales y la intensidad de la radiación transmitida, su efecto en el contenido de clorofila y las propiedades espectrales de las hojas y su relación con el crecimiento y rendimiento de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo*) cv Zucchini.

REVISION DE LITERATURA

Agricultura protegida

La agricultura protegida (AP) es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. Entre otras ventajas, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados (Moreno, *et al*, 2011).

Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, entre otros, lo que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas. Las instalaciones para la protección de cultivos pueden ser muy diversas entre sí; por las características y complejidad de sus estructuras, así como por la mayor o menor capacidad de control ambiental. Una primera clasificación de los diversos tipos de protección, puede hacerse distinguiendo entre "mulching" o acolchado de suelos, cubiertas flotantes, micro y macrotúneles, invernaderos y casas malla. (Santos, *et al* 2010).

Macrotúneles

Los túneles altos o macrotúneles son estructuras generalmente construidas con arcos de bambú, tubos de PVC o hierro galvanizado, cubiertos con una sola capa de plástico de tipo invernadero, agrotexil o malla anti-insectos. Su altura, generalmente entre 3 y 3.5 m, favorece el uso de variedades indeterminadas, lo cuál no es posible en el caso de los microtúneles, y el paso de una o más personas por su interior para atender las plantas, aún cuando llueve .

Estas estructuras, la mayoría de ellas con dimensiones de 4 m de ancho por 30 m de longitud, operan según los mismos principios que el invernadero. La diferencia entre los invernaderos y los macrotúneles radica en que no tienen temperatura controlada, ni sistemas de ventilación automática. La ventilación es pasiva y se realiza enrollando mecánica o manualmente los lados del túnel para permitir la circulación del aire. Los

macrotúneles pueden construirse como unidades móviles lo cual permite manejar la rotación de cultivos en el campo, razón por la cual no son considerados estructuras permanentes. (Santos, *et al* 2010).

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero.

El material ideal sería el que cumpliera los requisitos siguientes: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares, gran opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por suelo y planta durante la noche.

Los materiales de cubierta se dividen en tres grupos:

Vidrio impreso o catedral.

Plásticos rígidos: polimetacrilato de metilo (PMM), policarbonato (PC), poliéster con fibra de vidrio, policloruro de vinilo (PVC).

Plásticos flexibles: polietileno de alta densidad (PEHDD), etileno vinilo de acetato (EVA), policloruro de vinilo (PVC) y materiales coextruidos.

De acuerdo a los materiales utilizados para la realización de este trabajo se describen a continuación .El polietileno de alta densidad es un polímero que se caracteriza por:

1. Excelente resistencia térmica y química.
2. Muy buena resistencia al impacto.
3. Es sólido, incoloro, translúcido, casi opaco.
4. Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformados empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
5. Es flexible, aún a bajas temperaturas.
6. Es más rígido que el polietileno de baja densidad.
7. Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.
8. Es muy ligero.
9. Su densidad se encuentra en el entorno de 0.940 - 0.970 g/cm³.
10. Es mucho mejor el reciclaje mecánico y térmico.

Policarbonato.

El policarbonato es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto.

La presentación de este material es en planchas alveolares, que consta de 2 ó 3 paredes paralelas unidades transversalmente por paredes del mismo material. El grosor de las placas, que se puede encontrar en el mercado es de 4 a 16 mm.

Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. También se fabrica sin esta protección a las radiaciones UV, pero no es conveniente utilizarla en la cubierta de invernadero.

La transformación a la luz de la gama de radiaciones visibles e infrarrojos cortos es del 76-83%, según el grosor de la placa y paredes (2 ó 3), en las placas que no llevan protector a las radiaciones UV.

En los productos que lleven la protección en la parte exterior, para no dejar pasar a las radiaciones UV, éstas no pasan al exterior; esta propiedad, que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernaderos, resulta inconveniente cuando el invernadero está dedicado a producción de plantas hortícolas, que luego van a plantarse al aire libre, por efecto de choque que se produce, al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV.

El policarbonato celular tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga. Las múltiples paredes de que consta la placa, forman una cámara de aire dentro de los canales internos que hacen aumentar el poder aislante en un porcentaje muy elevado, respecto al mismo material en placa sencilla. Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos que el vidrio, a igualdad de espesor. El policarbonato tiene una gran resistencia al impacto (granizo, piedras, etc...). Estas placas pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave. En los fabricados actuales en la pared, que queda en el interior, puede llevar un tratamiento anticondensación y antigoteo, que permiten el deslizamiento de las gotas de agua, sin que llueva sobre el cultivo.

Efecto de la Radiación solar total y la Radiación Fotosintéticamente Activa en plantas.

La radiación solar influye sobre el crecimiento de las plantas principalmente a través de la fotosíntesis y la transpiración (Bouchet et al 2003). De la Radiación solar total que incide sobre la superficie terrestre es utilizada por las plantas en 2 formas principales; energéticas y morfológicas.

Las longitudes de onda del espectro de la radiación solar entre 300 y 900 nm son capaces de afectar el crecimiento y el desarrollo de los vegetales. Sin embargo, no solamente la calidad de luz puede influir en los procesos de crecimiento de las plantas, también intervienen otras de sus propiedades, por ejemplo su intensidad y su duración (Casierra y Peña, 2015). También de acuerdo a otros autores como Riviery en el 2007, menciona que la radiación, al interactuar con otros factores como la temperatura y precipitación, influye en el crecimiento y rendimiento de los cultivos; Heuvelink et al. (1995) menciona que la longitud de onda correspondiente en el rango de 400-700 nm del espectro de la radiación afecta la productividad de un cultivo.

Estudios previos han reportado el efecto de las características y color de las cubiertas en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos. Por ejemplo Ombodi *et al.* (2005), 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 transmisividad de la radiación solar que la de color rojo y blanco. Estudios realizados por Ilic *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 un cultivo de 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 por una mayor cantidad de radiación fotosintética difusa. 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 el cultivo de arándano bajo un túnel de polietileno con 35% de sombreado, se tuvo incremento de la floración, mayor peso del fruto y mayor rendimiento que bajo condiciones de cielo abierto. Casierra-Posada *et al.* (2014) observaron que para un cultivo de 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.

Manejo del cultivo

Taxonomía y morfología

Familia: Cucurbitaceae.

Especie: Cucúrbita pepo L. subsp. pepo.

Planta: anual, de crecimiento determinado.

Requerimientos edafoclimáticos

Ciclo agrícola

En México se presentan dos ciclos agrícolas, el primero (de temporal) durante la época de lluvias y el segundo ciclo durante la época más seca del año en terrenos denominados de cajete, muy planos y húmedos, ubicados en pequeños valles que se dice estuvieron antiguamente ocupados por lagos. También puede realizarse durante la temporada de secas en cualquier región, pero siempre asociado a riego.

Siembra directa

La siembra suele realizarse directa en el suelo o en la capa de arena, a razón de 2-3 semillas por golpe, cubriéndolas con 3-4 cm de tierra o arena, según corresponda. La cantidad de semilla utilizada suele ser de unos 10 kg/ha en siembra directa. Algunas ocasiones se realiza el transplante, germinando las semillas por separado generalmente de 5 a 7 semanas antes de colocarlas en el campo.

Temperatura y clima apropiados

Este cultivo es típico de las zonas con climas templados y fríos, aunque existen variedades que se cultivan a nivel de mar. La germinación de la semillas se da cuando el suelo alcanza una temperatura de 20-25 °C, para el desarrollo vegetativo de la planta debe mantenerse una temperatura atmosférica de 25-30 °C y para la floración de 20-25 °C; para este último proceso, debe tomarse en cuenta que temperaturas muy altas tienden a generar mayor número de flores estaminadas.

Humedad relativa óptima

Se trata de un cultivo más o menos exigente de humedad, si es cultivo de riego en zonas secas precisara de este vital líquido con la aparición de los primeros frutos. Los riegos deben de aplicarse durante todo el desarrollo de la planta a unas dosis de 2000 y 2500 m³/ha. Cabe mencionar que algunas variedades de esta especie toleran condiciones ambientales estresantes, tales como, falta de agua y suelos empobrecidos en nutrientes.

Luminosidad

La luminosidad es importante, especialmente durante los periodos de crecimiento inicial y floración. La deficiencia de luz repercutirá directamente en la disminución del número de frutos en la cosecha, así mismo la intensidad lumínica determinará la relación final de flores estaminadas y pistiladas, observándose que en períodos cortos de luz se favorece la producción de flores pistiladas (8 horas fotoperíodo).

Tipo de suelo

Este cultivo es poco exigente en suelo, adaptándose con facilidad a todo tipo de suelos, aunque prefiere aquellos de textura franca, profunda y bien drenada, sin embargo se trata de una planta muy exigente en materia orgánica. Los valores de pH óptimos oscilan entre 5.6 y 6.8 (suelos ligeramente ácidos), aunque puede adaptarse a terrenos con valores de pH entre 5 y 7. A pH básico pueden aparecer síntomas carenciales, excepto si el suelo está enarenado. Es una especie medianamente tolerante a la salinidad del suelo y del agua de riego, claro menos que el melón y la sandía y más que el pepino.

Tipo de nutrientes

Para este cultivo existe un amplio margen de abonado, el cual dependerá principalmente en función de la extracción del cultivo y en menor grado a la cantidad de nutrientes del suelo. Se reporta que para una producción media de 80,000-100,000 kg por hectárea se aplica 200-225 kg de nitrógeno (N₂), 100-125 kg de fósforo (P₂O₅) y 250-300 kg de potasio (K₂O) al momento de la siembra, proporcionando una relación aproximada 2-1-2.5. Los fertilizantes de uso más extendido son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato cálcico, nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato potásico, sulfato magnésico) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico), debido a su bajo coste y a que permiten un fácil ajuste de la solución nutritiva, aunque existen en el mercado abonos complejos sólidos cristalinos y líquidos que se ajustan adecuadamente, solos o en combinación con los abonos simples, a los equilibrios requeridos en las distintas fases de desarrollo del cultivo.

De acuerdo a los datos reportados por el SIAP, en el año 2014, a nivel nacional se sembraron 26, 598 ha de calabacita, con una producción de 441,079 ton, obteniendo un rendimiento de 16.76tone/ha. Nuevo León ocupa el lugar 16 en producción con una participación de 1.61 %, con una superficie sembrada de 427 ha, produciendo 9740 ton, con un rendimiento de 22.8 ton/ha.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del sitio de estudio

El estudio se ubicó en el municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León cuyas coordenadas geográficas son: 26°30' 3" latitud Norte, 100° 8'36" longitud Oeste a una elevación de 290 msnm. 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 Norte-Sur con la puerta de acceso en el lado sur. La cubierta de tres de los túneles fue una lámina de policarbonato cada uno de diferente color (azul, rojo y transparente), el otro se cubrió con polietileno de alta densidad, el otro se cubrió con PEHDD, de 180 micras 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 12.20 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 la calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni. En cada túnel se establecieron dos camas de 0.60 m. de ancho, separadas 1.2 m. La siembra directa se realizó el 12 de noviembre de 2015, colocando la semilla a una profundidad de 25 mm y 0.50 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/m²) 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 0.40 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 0.70 m sobre la superficie se instaló un Silicon Pyranometer (modelo LI200x, LI-COR, Inc.) y un Quantum sensor (apoge instruments, Logan, Utah, EE,UU) para medir la radiación solar y fotosintéticamente activa (PAR) respectivamente. También se midió la temperatura del aire y la humedad relativa dentro de cada túnel con un sensor (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA). Fuera de los túneles se realizaron las mismas mediciones, además de la velocidad y dirección del viento con una veleta y un anemómetro de tres tazas (Wind sentry modelo 031015 R.M. Young). Los sensores mencionados fueron conectados a dos dataloggers CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA). 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 en forma continua, a intervalos de 15 días y en cada uno de los cuatro túneles, entre las 12:00 y las 14:00 h se realizaron mediciones de la temperatura de las hojas de las plantas (con un Termómetro Infrarrojo portátil), contenido de agua del suelo de las camas en el estrato de 0 a 0.30 m con una sonda TDR (HydroSense IIP, Campbell, Sci., Logan, Utah, USA), contenido relativo de clorofila de las hojas (SPAD 502 Plus, Spectrum, Technologies, Inc.). La reflectancia de las hojas a la luz blanca se midió con un espectro radiómetro (PS-100, Apogee Inst., Logan, Utah, USA) La transmisividad de las láminas de policarbonato y el polietileno a la radiación solar (400 a 900 nm) se determinó en un día con cielo completamente despejado a la hora de mayor incidencia de radiación solar (13:00 a 14:00 h) con el espectro radiómetro.

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, área de las hojas, longitud y diámetro del peciolo (con un flexometro y un vernier digital). Durante la cosecha se cuantificó el número de frutos por planta. Para cada fruto cosechado de cada corte, se midió el peso (balanza granataria) y diámetro promedio (con un vernier digital). En cada corte, solo se cosecharon los frutos de una longitud mayor de 12 cm.

Para determinar el área de las hojas se utilizó la ecuación desarrollada por Rouphael y Colla *et al.* (2005) para hojas de calabacita, ya que estas son muy similares a las hojas de calabacita, por ser ambas de la familia de las cucurbitáceas. La ecuación fue:

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

Donde AF es el área foliar en cm^2 , A es el producto del ancho mayor (a) por la longitud mayor (l) de la hoja

Evaluación estadística

Las diferencias en radiación solar total (Rsw) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) transmitida en cada cubierta de los túneles (promedios de 30 min) a través del ciclo de desarrollo del cultivo, así como las diferencias en la reflectancia de las hojas y la temperatura del aire dentro de cada túnel, se evaluaron con la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones pareadas (Wilcoxon, $\alpha \leq 0.05$), ya que los datos correspondieron a series de tiempo correlacionadas

Las diferencias en el área de las hojas, longitud y diámetro del peciolo de las plantas de cada túnel se evaluaron con un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (los cuatro colores de la cubierta de cada túnel) y cuatro repeticiones (cuatro plantas), donde la unidad experimental correspondió al promedio de las mediciones de las hojas y peciolos de cada planta. La comparación de medias de tratamientos se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Para el número de hojas y frutos por planta se utilizó la misma evaluación estadística. El rendimiento total por planta en cada túnel se determinó dividiendo el peso total de los frutos cosechados (en todos los cortes) entre el número de plantas. Las diferencias en longitud, diámetro y peso del fruto se evaluaron con el mismo diseño estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSION

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 la transmitancia mayor 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 mostro 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 la menor transmisividad (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). Una menor radiación PAR que incide sobre las plantas tiene también un efecto directo en la tasa de fotosíntesis, el crecimiento y rendimiento de las plantas, por lo que las plantas bajo el policarbonato de color rojo puedes ser de menor crecimiento y rendimiento. En un estudio realizado por Sandri *et al.* (2003) en invernadero encontraron una disminución en el rendimiento de tomate debido a la reducción de la radiación al utilizar una técnica de sombreo. Por otro lado Bagdonavičienė *et al* (2015) encontraron que un tratamiento de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación PAR en tomate y pepino dio origen en menores tasas de asimilación de CO_2 en ambos cultivos con respecto a otro tratamiento de $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Así mismo, el tratamiento de menor nivel de radiación PAR dio origen a plantas con mayor índice de área foliar, lo que es consistente con otras observaciones que asocian menores niveles de radiación con mayor desarrollo vegetativo, como los encontrados en apio por Siwek *et al.* (2009). Sin embargo, los efectos de estas variaciones en el ambiente lumínico de las plantas, podrían estar altamente relacionados con la especie considerada, pues, por ejemplo, un experimento similar llevado a cabo con chile pimiento no mostró respuestas del cultivo a distintos niveles de radiación en túneles (Zambrano *et al*, 2016)

El cultivo puede ser afectado por las diferencias en la magnitud de la radiación y en la longitud de onda de dicha radiación. 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 diversas especies vegetales, encontrando una curva característica en la que existen dos picos de absorción en los 620 y 440 nm y un mínimo de absorción en los 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 en el proceso de fotosíntesis.

Por otro lado, también se ha documentado ampliamente los efectos morfogénicos asociados 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 (600-700nm) y el rojo lejano (700-800nm); a su vez, Lin (2000) encontró que también la cantidad relativa de luz dentro del espectro del azul (400-500nm) 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 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 azul en principio tiene mejores propiedades para su uso como material de cubierta. Grbic *et al* (2016) realizaron pruebas en túneles de color verde y lavanda en *Perilla frutescens* y encontraron un efecto significativo de los túneles el desarrollo vegetativo del cultivo, existiendo una relación inversa entre la luminosidad y el desarrollo vegetativo. Ambos materiales fueron confeccionados para reducir la transmitancia en el verde, en diferente magnitud (mayor reducción en “lavanda”).

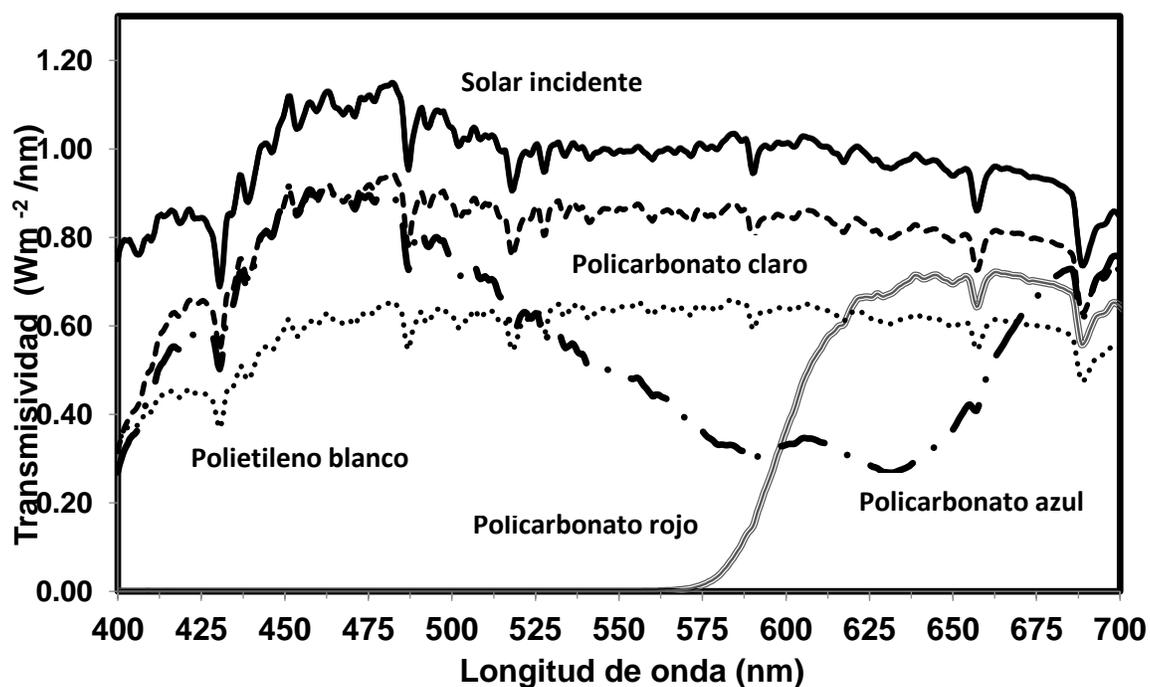


Figura 1. Radiación solar incidente en un rango de 400 a 700 nm de longitud de onda, y la transmitida bajo tres túneles con láminas de policarbonato de color claro, azul y rojo y un túnel con polietileno de alta densidad.

Cuadro 1. Magnitud de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) del espectro solar, que se transmite a través de cada material de cuatro macro túneles, y la relación porcentual con relación a la radiación PAR incidente sobre las cubiertas (291.66 W m⁻²).

Material de la cubierta	Radiación PAR que se transmite	Relación porcentual con relación a la radiación PAR incidente
Policarbonato de color rojo	68.585	23.51
Policarbonato de color azul	167.581	57.46
Policarbonato de color claro	240.838	82.57
Polietileno de alta densidad	176.477	60.51

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. La distribución diurna de la radiación solar (R_{sw}) bajo cada túnel se muestra en la Figura 2, donde se presenta el patrón diurno (7:00 a 19:00 h) de la radiación solar total incidente (R_{sw}), y la que se transmite bajo cada cubierta de túnel en un día despejado de cada uno de los meses del ciclo de crecimiento del cultivo. Nótese que la menor transmisividad de la R_{sw} se observa en el policarbonato de color rojo y la mayor ocurre en el de color claro. La mayor incidencia y penetración de la radiación en esta localidad y época del año se observa de las 12:00 a las 14:00 h (Figura 2).

En el Cuadro 2, se presenta la cantidad total de radiación (valores diarios integrados de las 7:00 a las 14:00 h, en MJ/m^2) recibida por las plantas durante los meses de crecimiento del cultivo. Nuevamente, las plantas bajo el policarbonato de color rojo recibieron menor cantidad total de radiación solar en todo el periodo de crecimiento del cultivo ($1084.02 MJ/m^2$), el que recibió mayor R_{sw} fue el claro ($1344.23 MJ/m^2$), seguido por el polietileno ($1160.84 MJ/m^2$) y el policarbonato azul ($1149.86 MJ/m^2$). En tuneles de color blanco, verde, amarillo y rojo Ombódi *et al.*, 2015 observaron una disminución en la radicaion incidente entre 23 y 39 %, y de 32 a 46 % en la radiación fotosintéticamente activa, obteniendo mayor retención el color amarillo y verde en los rangos de 450 a 450 nm y 550 a 670 nm respectivamente. De igual manera Retamal-Salgado *et al.* 2015 reportan una reducción en la PAR de 25% utilizando una cubierta de polietileno de alta densidad en invernadero, cuyas características de la cubierta eran: 85 % de capacidad para transmitir la PAR, 13% de radiación infraroja y 60% de dispersión de la luz visible.

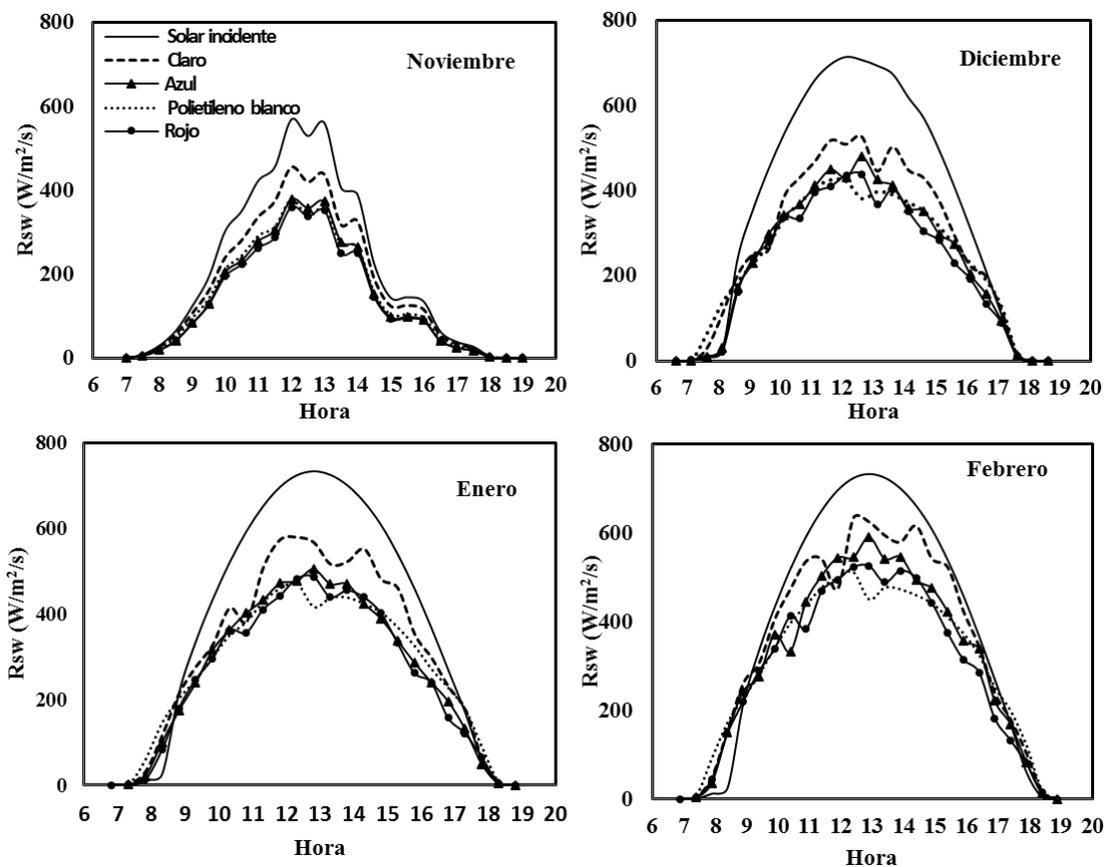


Figura. 2 Radiación solar total incidente (R_{sw}) y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro, azul, rojo y el polietileno de alta densidad, entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita.

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.

Fecha	Días en el periodo	Radiación solar total integrada (MJ/m ²)			
		Polietileno			
		Policarbonato claro	de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
28-30 nov, 2015	3	14.44	12.05	11.64	11.13
1-31 dic, 2015	31	282.01	244.23	237.31	219.86
1-31 enero, 2016	31	317.40	274.15	269.15	255.78
01-18 feb. 2016	18	730.38	630.40	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 transmisividad 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 (Figura3). Esto se debió a que las diferentes cubiertas son más selectivas a la radiación PAR que a la radiación cercana y lejana al infrarrojo. En esta figura se observa 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. En un estudio realizado por , Brodersen *et al.* (2008) observaron que la tasa fotosintética es menor en *Helianthus annuus* y *Amaranthus retroflexus* en condiciones de radiación directa con respecto a la tasa fotosintética observa en condiciones de radiación difusa, a pesar de que la radiación total se controló para que fuera igual en ambos casos. Después del rojo, la cubierta con menor transmisividad de la radiación PAR fue el policarbonato de color azul, seguida por el polietileno de alta densidad y la cubierta con

mayor transmisividad fue el policarbonato 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. Reflejándose esto en altos niveles de productividad (Jongschaap *et al.*, 2006). De igual forma que para la radiación R_{sw} , de las 12:00 a las 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 observa que las plantas bajo el policarbonato de color rojo recibieron la menor cantidad de radiación (516.10 mol/m^2), seguida del policarbonato azul (1026.92 mol/m^2), polietileno de alta densidad (1274.49) y el de mayor transmisividad fue el policarbonato claro (1757.87 mol/m^2). En términos de porcentaje, las plantas bajo la cubierta roja recibieron solo el 29.35% 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. Martínez *et al* (2016) evaluaron en un cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) plásticos de polietileno en colores rojo, azul, perla, negro y un control con un 50 % de sombreado, los resultados obtenidos mostraron una reducción en la radiación PAR en los tratamientos de colores. En el polietileno rojo las plantas presentaron mayor altura pero menor peso seco, diámetro del tallo y número de brotes. El contenido de aceite incremento bajo los diferentes tratamiento excepto en el polietileno negro, que disminuyó un 34 % con respecto al tratamiento control.

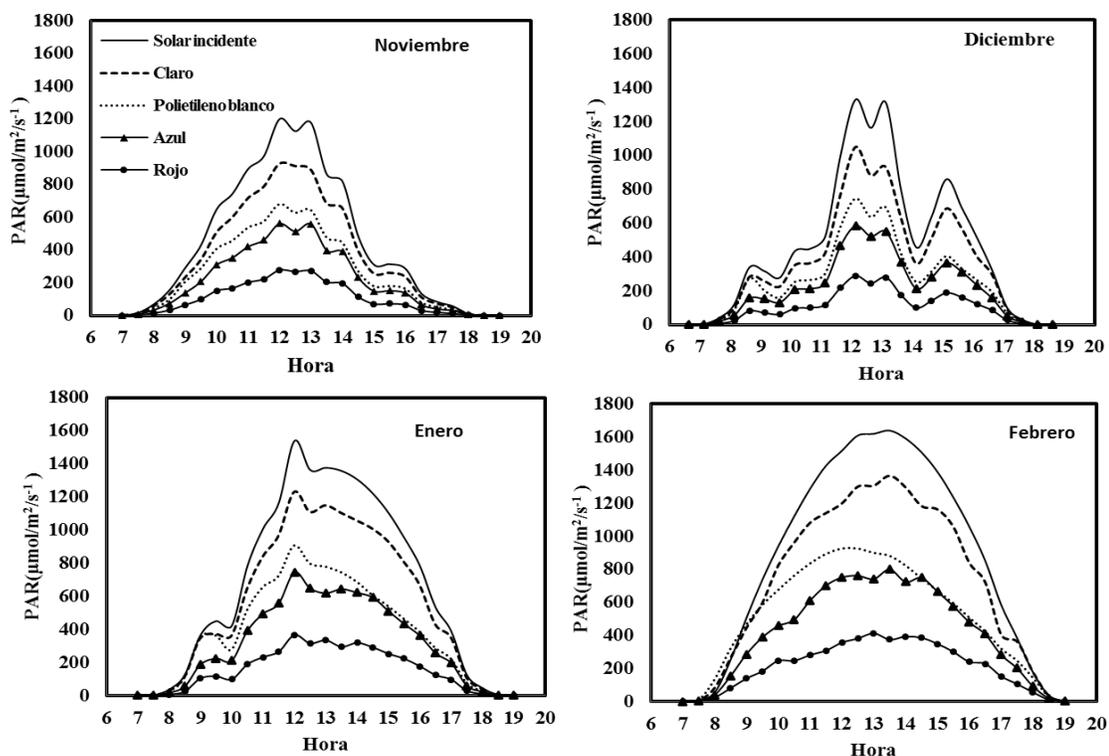


Figura. 3 Radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente y la que se transmite a través de las cubiertas de policarbonato de color claro , azul, rojo y el polietileno de alta densidad , entre las 7 y las 19:00 h de un día despejado de los meses de crecimiento del cultivo de calabacita.

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

Fecha	Número de días	Radiación PAR acumulada (mol/m ²)			
		Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
28-30 nov. de 2015	3	30.55	21.71	17.96	8.59
1-31 dic. de 2015	15	568.91	407.62	329.29	165.40
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	516.10

Contenido de clorofila en las hojas

Las plantas que crecieron bajo el túnel con policarbonato de color claro, tuvieron el mayor contenido de clorofila (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) a través del ciclo de crecimiento del cultivo (Cuadro 4). Esto estuvo directamente relacionado con la una mayor incidencia tanto de radiación solar total como de radiación fotosintéticamente activa sobre las plantas (Cuadros 2 y 3). Al inicio del ciclo de crecimiento del cultivo, las plantas bajo el policarbonato azul tuvieron el menor contenido de clorofila (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), esto se debió al bajo nivel de radiación que recibieron las plantas en el espectro el color rojo (600 a 650 nm) teniendo un mayor impacto en el contenido de clorofila de las hojas. En estudios realizados con especies forestales, se han encontrado diferencias significativas en el contenido de clorofila y otros pigmentos como resultado de las diferencias en la exposición a la radiación. Así, Sarijeva *et al* (2007) encontraron bajos niveles de clorofila en hojas sombreadas que en hojas expuestas al sol aun en los mismos individuos, mostrando el potencial de adaptación al ambiente lumínico de las hojas. Wheeler *et al* (2000) encontraron que la disminución en los niveles de radiación PAR da origen a una rápida respuesta adaptativa que implica cambios drásticos en las membranas de los tilacoides de la clorofila. Sin embargo, las plantas con el menor contenido de clorofila durante la mayor parte del ciclo de crecimiento fueron las que se desarrollaron bajo el policarbonato de color rojo (Cuadro 5, Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto debido a una nula incidencia de radiación de 400 a 570 nm de longitud de onda (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. Por ejemplo, estudios realizados por Trouwborst (2016), observaron que las plantas de Pepino (*Cucumis sativus*) tuvieron un menor contenido de clorofila cuando crecieron en condiciones de luz rojo (638 nm). Resultados diferentes fueron obtenidos por Yang *et al.* 2016 en cultivo de arroz donde observaron una relación positiva entre el contenido de clorofila y longitud de onda de 685 nm. Al final del ciclo del cultivo, y debido al estrés por déficit de radiación PAR al que estuvieron expuestas las plantas bajo el policarbonato rojo, se vieron forzadas a generar más clorofila y este fue igual al generado por las plantas que crecieron en los otros túneles. El menor contenido de clorofila en las plantas

bajo el policarbonato rojo, se puede manifestar en un menor crecimiento y rendimiento de las plantas.

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

Color de la cubierta	27 de		8 de		22 de	
	nov. de 2015	11 de dic. de 2015	23 de dic. de 2015	enero de 2016	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 ^a
Policarbonato azul	25.82 ^b	31.47 ^{ab}	34.75 ^{ab}	32.07 ^b	35.87 ^a	37.25 ^a
Polietileno	27.12 ^a	30.62 ^{ab}	33.70 ^b	33.35 ^b	32.55 ^b	38.40 ^a
Policarbonato rojo	25.37 ^b	27.22 ^b	28.97 ^c	28.37 ^c	35.65 ^a	34.82 ^a

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

Crecimiento de las hojas de las plantas

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) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), 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 570 nm, que resultó en menor número de hojas y de área foliar (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Estudios realizados por Gaurav *et al* (2016) mostraron que en palmita roja (*Cordyline terminalis*) el uso de mallas sombras con 50 % de sombreado en color roja y blanca fue mejor el desarrollo de la planta en cuanto a altura, follaje, biomasa, y área foliar esto por una mayor exposición a la PAR transmitida, contrario al uso de mallas color blanca y negra.

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.

Fecha	Numero de hojas			
	Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
23 de dic, 2015	9.75 ^a	7.25 ^b	7.5 ^b	6.50 ^b
8 de enero, 2016	15.00 ^a	11.50 ^b	12.00 ^b	10.50 ^b
22 de enero, 2016	20.25 ^a	15.25 ^b	15.00 ^b	14.25 ^b
5 de feb, 2016	25.00 ^a	18.00 ^b	20.25 ^{ab}	15.5 ^b

Medias con letra diferente dentro de las hileras son estadísticamente diferentes (Tukey. $\alpha \leq 0.05$).

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.

Fecha	Área Foliar (cm ²)			
	Policarbonato claro	Polietileno de alta densidad	Policarbonato azul	Policarbonato rojo
23 de dic, 2015	308.30 ^a	208.31 ^b	211.55 ^b	155.31 ^b
8 de enero, 2016	679.57 ^a	441.64 ^b	438.40 ^b	302.68 ^b
22 de enero, 2016	508.80 ^a	458.93 ^{ab}	430.17 ^{ab}	374.76 ^b
5 de feb, 2016	521.22 ^a	499.02 ^{ab}	390.62 ^{bc}	361.16 ^c

Medias con letra diferente dentro de las hileras son estadísticamente diferentes (Tukey. $\alpha \leq 0.05$).

Rendimiento de fruto de las plantas

Debido a que la maduración para el corte de los frutos y el rendimiento fue muy diferente entre los túneles de los diferentes colores, los datos que se presentan son el resultado de la suma de los 10 cortes que se realizaron. Las plantas que crecieron en el túnel con cubierta de policarbonato claro, que recibieron mayor cantidad de radiación PAR (Cuadro 3) y que tuvieron mayor contenido de clorofila durante el ciclo de crecimiento de las plantas (Cuadro 4), fueron las de más rápida maduración y mayor rendimiento (número de frutos totales por túnel) (Figura 4). Por el contrario, las plantas bajo el túnel de policarbonato de color rojo que recibieron la menor radiación PAR (Cuadro 3) y con el menor contenido de clorofila en la mayor parte del ciclo de crecimiento (Cuadro 4) presentaron el menor rendimiento (número de frutos). Todos los parámetros del rendimiento evaluados: peso y número de frutos por túnel, diámetro y longitud de frutos, fueron mayores en las plantas bajo el policarbonato claro que en las del rojo (Figura 4). Además, las plantas bajo el policarbonato rojo y azul que recibieron la menor cantidad de radiación PAR y menor proporción en las longitudes de onda del azul o el rojo, tuvieron el menor peso promedio de frutos (Figura 4). Roupheal y Colla (2005) estudiaron los efectos de distintos niveles de radiación solar, originados por la estación del año, en calabacita cultivada en invernadero, encontrando una relación inversa entre temperatura y radiación solar, por un lado, y el rendimiento de frutos y la tasa de uso eficiente del agua, por otro. Estos resultados contrastan con los resultados obtenidos por nosotros, ya que precisamente en túnel con mayores niveles de radiación se encontró el mayor rendimiento. Esta diferencia podría deberse a las variaciones en temperatura, pues el experimento de Roupheal y Colla (2005) comparó el comportamiento de calabacita en dos periodos del año, existiendo diferencias entre estos dos periodos no solo en la radiación total, sino también en temperatura y déficit de presión de vapor. Por otro lado, los efectos de las variaciones en los niveles de radiación PAR recibida han mostrado ser influidos por cambios en la temperatura en otros cultivos (Neugart *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2016).

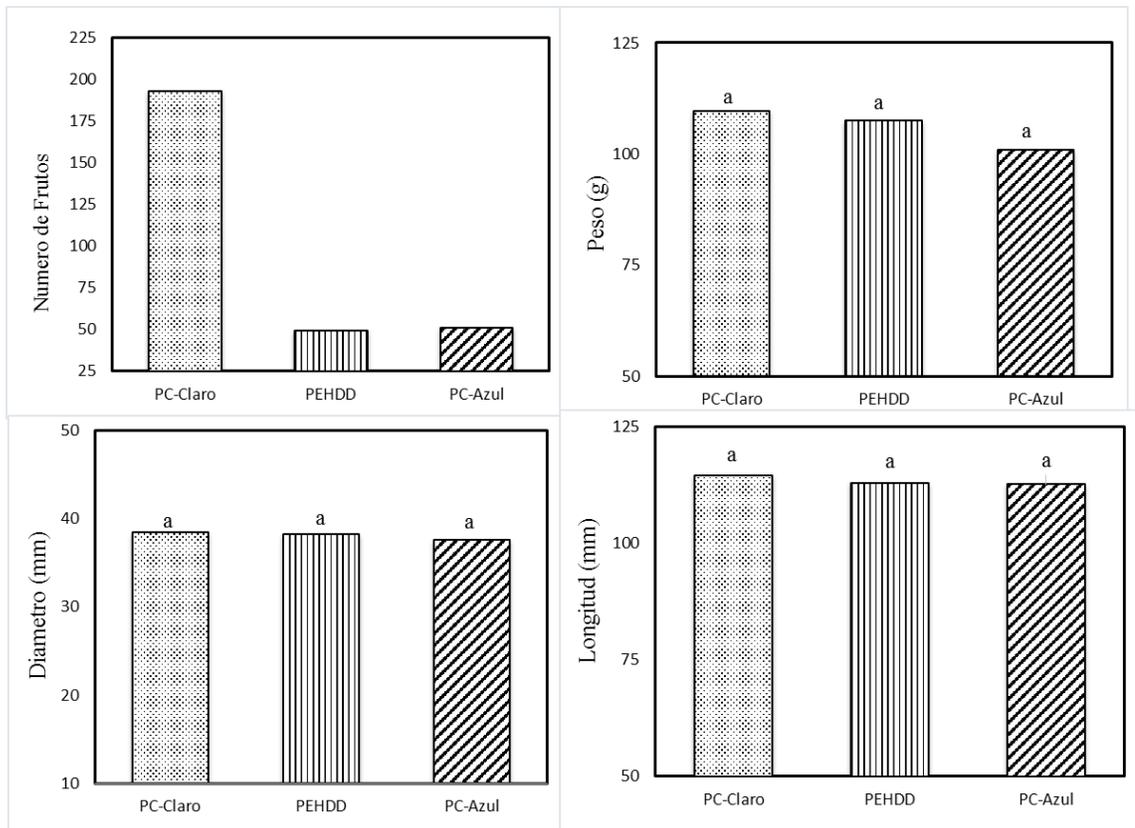


Figura 4.. Parámetros del rendimiento de frutos de un cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Zuchinni, bajo crecimiento en túneles de diferentes materiales y colores.

CONCLUSIONES

La cubierta de policarbonato de color claro, tuvo una mayor transmisividad de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que se 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 menor rendimiento de frutos.

LITERATURA CITADA

- Bagdonavičienė, A.; Brazaitytė, A.; Jankauskienė, J.; Vaštakaitė, V. y 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.
- Brodersen, R., Vogelmann, C., Williams, E. y Gorton, L., 2008. A new paradigm in leaf-level photosynthesis direct and diffuse lights are not equal. *Plant, Cell Environ.* 31(1):159-164.
- Casierra, F., Matallana, D. y Zapata, E. 2014. Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by coloured covers. *Healthy plants*. 66(4): 149-155.
- Escobar, J., Combes, D., Rakocevic, M., de Berranger, C., Eprinchard, A., Sinoquet, H., y Varlet, C. 2009. Functional relationships to estimate Morphogenetically Active Radiation (MAR) from PAR and solar broadband irradiance measurements: The case of a sorghum crop. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149(8).1244–1253.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2016.
- Gaurav, K., Raju, S., Janakiram, T., Singh, B., Jain, R., y Krishnan, G. 2016. Effect of different coloured shade nets on production and quality of cordyline. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86(7): 865-869.
- Grbic, N., Paschko, K., Pinker, I. y 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. Scientia Horticulturae*. 210:93–98.
- Hogewoning, W., Wientjes, E., Douwstra, P., 2012. Photosynthetic Quantum Yield Dynamics: From Photosystems to Leaves. *Plant Cell*. 24(5):1921-1935.
- Ilić, S., Milenković, L., Šunić, L., y Fallik, E. 2015. Effect of coloured shade nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13): 2660-2667.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2016. (<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19044a.html>) fecha de consulta 15 de Septiembre del 2016.
- Jongschaap, E., Dueck, A., Marissen, N., Hemming, S., y Marcelis, M. 2006. Simulating seasonal patterns of increased greenhouse crop production by conversion of direct radiation into diffuse radiation. *Acta Horticulturae*, (718), 315–322.
- Lamont, J. 2009. Overview of the use of high tunnels worldwide. *HortTechnology*, 19(1): 25-29.

- Lin, C. 2000. Plant blue-light receptors. *Trends Plant Scientia.*;5(8):337-342.
- Martinez, A. Santana, L., Ortiz, Y.D., Morales, I. y 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 Meteorology*, 9:191–216.
- Mota, S., Amarante, T. D., Santos, D., y Albuquerque, A. 2009. Water supply, solar radiation and photosynthesis in 'Cabernet Sauvignon' grapevines under plastic covering. *Brazilian Magazine Of Horticulture*. 31(2): 432-439.
- Neugart, S., Fiol, M., Schreiner, M., Rohn, S., Zrenner, R., Kroh, W. y Krumbein, A. 2013. Low and moderate photosynthetically active radiation affects the flavonol glycosides and hydroxycinnamic acid derivatives in kale (*Brassica oleracea* var. sabellica) dependent on two low temperatures. *Plant Physiol Biochem.*;72:161–168.
- Oliveira, C., Vieira, L., Bertolli, C. y Pacheco, C. 2016. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. *Chilean journal of agricultural research* 76(1): 123-128.
- Ombodi, A., Zoltán, K., Szuvandzsiev, P., Taskovics, T., Koházi-kis, A., Kovács, A. y 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., y Paulino, L. 2015. Influence of microclimatic conditions under high tunnels on the physiological and productive responses in Blueberry'O'Neal'. *Chilean Journal of Agricultural research* 75(3):291-297.
- Rogers, A. y 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. *HortTechnology* 22(4): 452-462.
- Rouphael, Y. y Colla G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse *Zucchini squash* in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy*. 23(2):183–94.
- Sales, A., Barbosa, J., Barbosa, P., Viana, V. y Freitas, A. 2014. Agricultural nets as undercover in hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*). *Rural Science*. 44(10): 1755-1760.
- Sandri, M.A, Andriolo, J.L, Witter, M. y Dal Ross T. 2003. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. *Horticultura Brasileira*; 21(4):642-645

- Santos, M., y Salame, P. 2012. Performance of southern highbush blueberry cultivars under high tunnels in Florida. *HortTechnology*. 22(5): 700-704.
- Sarijeva, G., Knapp, M., y Lichtenthaler, H.K. 2007. Differences in photosynthetic activity, Chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus. *Journal Plant Physiology*. 164(7):950-955.
- Shi, X., Cai, H., Zhao, L., Yang, P. y Wang, Z. 2016. Greenhouse tomato dry matter production and distribution model under condition of irrigation based on product of thermal effectiveness and photosynthesis active radiation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(3), 69–77.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP.2016). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>. (Marzo 2016).
- Smith, H., 2000. Phytochromes and light signal perception by plants - an emerging synthesis *Nature*. 407(6804):585–591.
- Siwek, P., Wojciechowska, R., Libik, A. y Kalisz, A. 2009. The effect of different kind of polyethylene film used as a low tunnel cover on celery yield and stalk quality. *Vegetable Crops Research Bulletin* 70: 91–100.
- Trouwborst, G., Hogewoning, W., Van Kooten, O., Harbinson, J., y Van Ieperen, W. 2016. Plasticity of photosynthesis after the ‘red light syndrome’ in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*. 121: 75-82.
- Wheeler, S., y Fagerberg, R. 2000. Exposure to low levels of photosynthetically active radiation induces rapid increases in palisade cell chloroplast volume and thylakoid surface area in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Protoplasma*. 212(12), 38–45.
- Yang, J., Gong, W., Shi, S., Du, L., Sun, J., Song, L. y Ma, Y. 2016. The Effect of Chlorophyll Concentration of Paddy Rice on the Fluorescence Spectrum. 36(10):3410-3413.
- Zambrano, C., Olmstead, M., Zotarelli, L., Boyd, N. y Santos, B. 2016. Plastic Roof Materials as They Affect Bell Pepper Production in High Tunnels. *International Journal of Vegetable Science* 22: 461–470.
- Zhao, Y., Gu, M., Bi, G., Evans, B., y Harkess, R. 2014. Planting date effect on yield of tomato, eggplant, pepper, zinnia, and snapdragon in high tunnel in Mississippi. *Journal of Crop Improvement*. 28(1): 27-37.