

EFFECTO DE UNA PELÍCULA PLÁSTICA MODIFICADA EN ALGUNOS ASPECTOS BIOQUÍMICOS DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Effect of a modified plastic film on some biochemical aspects of a tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop

^{1*}Emilia Laura García-Enciso, ¹Manuel De La Rosa-Ibarra, ²Rosalinda Mendoza-Villarreal, ³Maria Rosario Quezada-Martin, ³Marco Arellano-García

¹Departamento de Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 25315.

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

³Departamento de Agrolásticos, Centro de Investigación en Química Aplicada Saltillo, Coahuila, 25253.

*emita_ma13@hotmail.com

Artículo científico recibido: 03 de diciembre de 2013, **aceptado:** 07 de marzo de 2014

RESUMEN. El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto de una cubierta para invernadero modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes, la cual se nombró CIQA, sobre el rendimiento, y algunas variables bioquímicas y la calidad de frutos de tomate. El trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada ubicado en Saltillo, Coahuila. Se instalaron dos invernaderos, en uno se usó la cubierta convencional y en el otro la película modificada. Se midió la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) y la temperatura al interior y exterior de los invernaderos. Se estableció un cultivo de tomate en los invernaderos, se determinó el contenido de clorofilas y carotenoides en las plantas y en los frutos se evaluó el contenido de Vitamina C y licopeno. Las lecturas máximas de PAR fueron mayores en el exterior, luego en el invernadero convencional y por último en el invernadero CIQA. En cuanto a temperatura, las lecturas más altas se presentaron en el invernadero de plástico convencional, seguido por el invernadero con la película CIQA y el exterior. Se encontraron diferencias durante algunos muestreos para el contenido de carotenoides, Vitamina C y licopeno. Lo anterior permite concluir que la película plástica CIQA disminuye la radiación y la temperatura al interior del invernadero, sin afectar los estándares de calidad de los frutos y el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: Radiación, temperatura, licopeno, carotenoides.

ABSTRACT. The purpose of this study was to determine the effect of a greenhouse cover modified with nanoparticles and fluorescent pigments, named CIQA, on the yield and some biochemical variables and the quality of tomato fruits. The study was carried out at the Research Centre of Applied Chemistry located in Saltillo, Coahuila. Two greenhouses were prepared, one with a conventional cover and the other with the modified film. The photosynthetically active radiation (PAR) and the temperature inside and outside of the greenhouses were recorded. A tomato crop was established in the greenhouses, the content of chlorophylls and carotenoids was recorded for the plants and the content of Vitamin C and lycopene was recorded for the fruit. The maximum PAR readings were greater outside, followed by the conventional greenhouse and then the CIQA greenhouse. As for the temperature, the highest readings were recorded in the conventional plastic greenhouse, followed by the CIQA film and then the outside. Differences were observed during some samplings regarding the content of carotenoids, Vitamin C and lycopene. This makes it possible to conclude that the CIQA plastic film decreases the radiation and temperature inside the greenhouse, without affecting the quality standards of the fruit and the crop yield.

Key words: Radiation, temperature, lycopene, carotenoids.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales plásticos en las actividades agrícolas inició una modificación profunda en la tecnificación de la producción de frutas, hortalizas y plantas ornamentales (Hallidri 2001). Las propiedades aislantes y la transmitancia de luz del material de cubierta afectan la temperatura interior de invernadero, de la hoja, y la humedad relativa (Noble y Holder 1989, Papadopoulus y Hao 1997) generando un microclima particular con efectos significativos sobre el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo (Papadopoulus y Hao 1997, Dorais et al. 2002).

La radiación es un factor importante que puede modificar el desarrollo de las plantas y la calidad de los frutos según la especie, por esta razón, el empleo de películas fotoselectivas representan un nuevo concepto agrotecnológico que permiten combinar la protección del cultivo con los diferentes filtros de radiación solar para promover respuestas fisiológicas que son reguladas por la luz, estas respuestas determinan el valor comercial del cultivo como: el rendimiento, calidad del fruto y el grado de madurez (Márquez et al. 2010).

La cantidad y calidad de la luz transmitida por los plásticos, afecta el crecimiento de las plantas ya que una disminución en estas variables, tiene un efecto negativo sobre el cultivo, se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, al estar directamente relacionada con el proceso fotosintético (Cerny et al. 1999). Las clorofilas son esenciales para el desarrollo de la planta, ya que son responsables para la captura de la energía solar incidente necesaria para la fotosíntesis, esta energía se transfiere a los productos fotosintetizados (Ferri et al. 2004) y por ello influyen directamente sobre el crecimiento y la calidad de los productos, de igual manera la temperatura tiene una influencia significativa sobre el crecimiento y desarrollo de frutos de tomate, debido a que puede reducir el período de crecimiento, además los primeros rendimientos son más altos a temperaturas más altas (Van Der Ploged y Heuvelink 2005) sin embargo, las temperaturas óptimas para este cultivo se encuentran entre los 24

a 25 °C. (Rodríguez et al. 1997).

A fin de optimizar la cantidad y calidad de luz para el crecimiento de las plantas, se han desarrollado nuevos materiales fotoselectivos como cubiertas para invernaderos. Mascarini et al. (2013) encontraron que con el uso de cubiertas fotoselectivas se incrementó la cantidad y calidad de determinados cultivos de rosas. Algunos plásticos que contienen diferentes pigmentos fluorescentes provocaron una reducción en la altura de la planta en cultivos de pepino (*Cucumis sativus* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Li et al. 2003), mientras que en tomate al usar películas fotoselectivas se encontró un aumento en los sólidos solubles (Márquez et al. 2010). Por otro lado, al aumentar la exposición de los frutos a la radiación fotosintética se obtuvo un incremento en el contenido de licopeno y β -caroteno (Gautier et al. 2005), sin embargo, también es conocido el efecto negativo de las películas si no se tiene control sobre el microclima del invernadero, por ello resulta importante disminuir las temperaturas altas y mantener la humedad relativa adecuada para la producción, de aquí la importancia de buscar alternativas de manejo de estos factores, utilizando películas para invernadero modificadas que permitan una mejor selección de radiación visible y mayor difusión de luz, para que impacte positivamente en el desarrollo y calidad de frutos de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada, ubicado en la Ciudad de Saltillo, Coahuila, en el cual se establecieron dos invernaderos tipo túnel, de aproximadamente 102 m² cada uno, a uno se le instaló una cubierta de plástico convencional, la cual posee propiedades de alta transmisión (> 70 %) de radiación total y PAR, con un 50 % de difusión de la luz con respecto a la radiación incidente, se encuentra hecha a base de polietileno de baja densidad, con duración mayor a dos años y un calibre de 180 micras, este plástico se encuentra de forma comercial en el mercado; al segundo invernadero se

le colocó una cubierta modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes, a la cual se nombró CIQA, esta película fue formulada y elaborada en los laboratorios del Centro de Investigación en Química Aplicada, dicha película posee propiedades de media transmisión (50 %) de radiación total y PAR, tiene una alta difusión de luz (> 70 %) está elaborada a base de polietileno de baja densidad y tiene una duración mayor a dos años, su calibre es de 180 micras y aún no es comercial.

Como material experimental se utilizaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad "El Cid", estas se trasplantaron el 24 de abril de 2013, el trasplante se realizó al suelo en cada invernadero, usando acolchado plástico bicolor fabricado a base de polietileno con un calibre de 90 micras y ground cover blanco. Se aplicó una fertilización de fondo, la cual consistió en aplicar 1.39 kg de fosfato monoamónico, 1.19 kg de nitrato de amonio y 1.99 kg de sulfato de potasio para 102 m² de superficie. Iniciada la floración las necesidades nutrimentales fueron satisfechas por medio de fertirriego, usando una solución nutritiva que contenía por cada 1000 L de agua, 306 g de nitrato de calcio, 585 g de nitrato de potasio, 172 g de fosfato monoamónico, 231 ml de ácido nítrico, 97.1 ml de ácido sulfúrico y 20 ml del producto Poliquel para cubrir los micronutrientes.

Medición de radiación y temperatura

Se midió la radiación fotosintéticamente activa al interior de los invernaderos y en el exterior de los mismos y se registró utilizando sensores tipo Quantum, modelo Q16533 de la marca LI-COR, los datos fueron capturados cada minuto durante el día y la temperatura fue medida con sensores Hobos de la marca Onset, cada diez minutos durante todo el día. Los datos recolectados de ambos aparatos fueron almacenados en un data logger modelo LI-1000 de la marca LI-COR.

Desarrollo del cultivo

Durante el desarrollo del cultivo se llevaron a cabo podas y tutoros, así como la aplicación de productos fitosanitarios preventivos.

Posterior al trasplante, se realizaron siete

muestreos cada diez días iniciando el 8 de mayo de 2013 y terminando el 8 de julio de 2013, donde se determinó el contenido de clorofila y carotenoides en las plantas de tomate, tomándose en cuenta una planta como repetición y teniendo tres repeticiones por invernadero. Durante la etapa de fructificación se realizaron 3 muestreos cada siete días para determinar °Brix, firmeza, pH, contenido de Vitamina C y licopeno, usando un fruto como repetición y considerando tres frutos de diferentes plantas por invernadero. Para el componente de rendimiento se evaluó un total de 16 cortes, la cosecha de los frutos se realizó cuando estos presentaron más del 90 % de la superficie de color rojo, denominada etapa seis (USDA, 1997).

Determinación de clorofilas y carotenoides

El contenido de clorofilas y carotenoides se realizó por espectrofotometría de acuerdo con las metodologías de Lichtenthaler (1987) modificada, Strickland y Parsons (1972) y Britton (1985), usando acetona al 90 % como solvente, se pesaron 0.5 g de hojas frescas y se trituraron en un mortero (frío) después se añadieron 50 ml de acetona, se filtró y del filtrado se tomó una alícuota que se colocó en una celda para espectrofotómetro, la muestra se leyó a 648 y 663 nm y para determinar el contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b, se usaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila Total} = (20.2 * A_{648} + 8.02 * A_{663})$$

$$\text{Clorofila a} = (12.7 * A_{663} + 2.69 * A_{648})$$

$$\text{Clorofila b} = (22.9 * A_{648} + 4.68 * A_{663})$$

Donde A es la absorbancia en nanómetros, a la cual fue leída la muestra.

Para la determinar la concentración de carotenoides totales la alícuota del filtrado anterior se leyó a 480 y 750 nm, y después los datos se ingresaron a la siguiente fórmula:

$$\text{Carotenoides Totales} = \frac{((A_{480} - A_{750}) * \text{Vol. extrato en ml})}{((100 * \text{Ecm1\%}) * (\text{vol. filtrado en litros}))}$$

°Brix y pH. Para la medición de estas variables se realizó un macerado de los fruto cosechados

utilizando tanto el jugo como la pulpa y se determinaron los °brix con un refractómetro modelo Pal1 de la marca Pocket, en el mismo macerado se midió el pH del fruto con un potenciómetro portátil de la marca Hanna.

Firmeza

La firmeza de los frutos se registró utilizando un penetrómetro marca Tester, modelo FT327 con un puntal de 8 mm.

Vitamina C

La determinación del contenido de Vitamina C, se evaluó usando el método de la AOAC (1990). Se pesaron 10 gr de muestra fresca, se trituró en un mortero, con 10 ml de ácido clorhídrico al 2 %, se filtró y se aforó a 100 ml con agua destilada. Posteriormente se tomaron 10 ml y se depositaron en un matraz, para luego titularse con una solución de 2,6 diclorofenolindofenol, hasta que apareció el primer tono rosa que persistió por 30 segundos. Los datos obtenidos de las titulaciones de las muestras y el blanco se sustituyeron en la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C} = \frac{(V_m - V_b)(M)(FC)(100)}{W} \cdot V(a)$$

Dónde:

- V_m = Volumen gastado en la muestra
- V_b = Volumen gastado en el blanco
- M = Molaridad del 2,6 diclorofenolindofenol (0.001 N)
- FC = Factor de conversión de 1 ml de 2,6 diclorofenolindofenol a 0.088 mg de Vitamina C
- W = Peso de muestra en mg
- V = Volumen total
- a = Alícuota

Licopeno

Para la extracción de licopeno se pesaron 3 g de pericarpio del fruto de tomate, se colocaron en un mortero congelado que contenía 3 ml de amortiguador de fosfatos (pH 7) y se molió, de la mezcla se colocaron 2 ml en tubos de centrifuga, se agregaron 4 ml de la mezcla hexano - acetona (3 : 2), se agitó la mezcla para separar y disolver los pigmentos de las membranas (Davis *et al.* 2003), se centrifugó

a 3 000 rpm por 10 min para la separación de fases, se extrajo la fase coloreada y se leyó la absorbancia a 502 nm (A502) en un espectrofotómetro de la marca Varian, el contenido de licopeno se calculó con la fórmula: Licopeno (mg 100 g⁻¹) = A502 / 0.32.

Diseño experimental

El experimento se estableció utilizando un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones donde los tratamientos fueron las películas para invernadero. El análisis de los datos se realizó por medio de un análisis de varianza y pruebas de Tukey (p < 0.05) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2001).

RESULTADOS

De acuerdo con los datos registrados se observaron diferencias entre la cantidad de radiación PAR incidente y la transmitida por las diferentes cubiertas plásticas al interior de los invernaderos (Figura 1. Lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas plásticas durante el ciclo de cultivo de tomate.). Las lecturas máximas se registraron en el exterior de los invernaderos con un valor de 1986 μmol m⁻² s⁻¹, mientras que la cubierta plástica convencional tuvo como valor máximo 1705 μmol m⁻² s⁻¹ y la cubierta plástica modifica 1132 μmol m⁻² s⁻¹. Estas lecturas se presentaron en días diferentes y los valores más bajos registrados fueron de 234.4 y 163.1 μmol m⁻² s⁻¹ para el invernadero de cubierta plástica convencional y la cubierta CIQA respectivamente, estos valores se presentaron entre las 12 y las 3 de la tarde.

También se observaron diferencias entre la temperatura al interior de los invernaderos, siendo de 36.4 °C, la temperatura más alta que se presentó en el invernadero con la cubierta plástica modificada y de 40.8 °C el invernadero con la cubierta plástica convencional, mientras que en el exterior la máxima temperatura encontrada fue de 36.4 °C, estos valores se presentaron alrededor de las 12 a las 3 de la tarde. En general la diferencia de temperatura

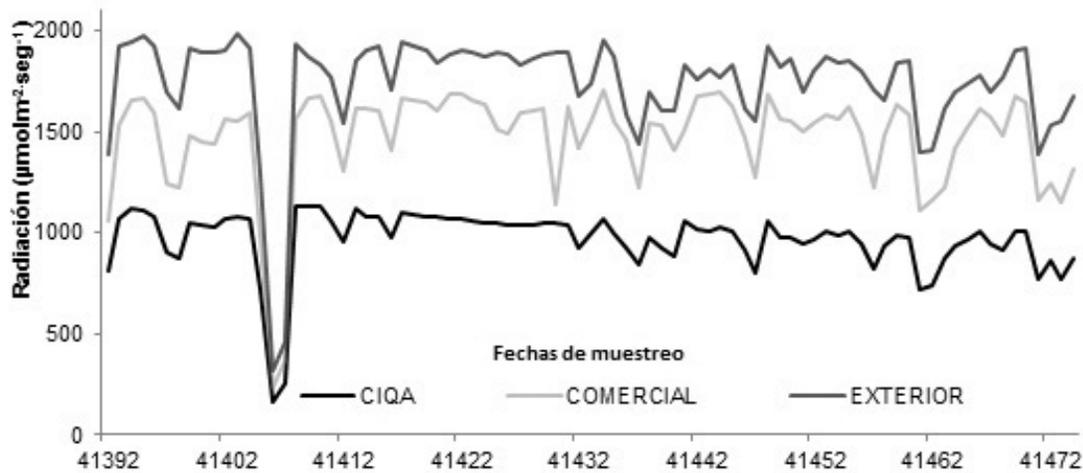


Figura 1. Lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas plásticas durante el ciclo de cultivo de tomate.

Figure 1. Maximum photosynthetically active radiation (PAR) readings inside and outside of two greenhouses with different plastic covers during a tomato crop cycle.



Figura 2. Lecturas máximas de temperatura en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas plásticas durante el ciclo de cultivo de tomate.

Figure 2. Maximum temperature readings inside and outside of two greenhouses with different plastic covers during a tomato crop cycle.

al interior de los invernaderos fue de aproximadamente 2 °C, y al comparar los datos de radiación y temperatura al interior de los invernaderos, se pudo observar que la radiación transmitida por el plástico se encuentra directamente relacionada con la temperatura al interior del invernadero.

Para la variable componente de rendimiento no se encontraron diferencias (Tukey $p \leq 0.05$)

en ninguno de los parámetros evaluados (Tabla 1. Componente de rendimiento de un cultivo de tomate crecido bajo diferentes cubiertas plásticas) sin embargo, se puede apreciar que las plantas desarrolladas bajo el plástico modificado produjeron aproximadamente 5 % más frutos que las plantas crecidas en el invernadero cubierto con el plástico

convencional, también se observó que el rendimiento en el invernadero con la película modificada presentó un incremento del 3 % en el peso de los frutos por planta, lo que permitió una diferencia numérica de 3.5 % en el rendimiento.

Tabla 1. Rangos de resultados para evaluar los resultados del Índice de Calidad de Agua.

Table 1. Value range to evaluate the Water Quality Index results.

Tratamiento	Variable	
Convencional		75.30
CIQA	Frutos por planta	79.30
CV		14.08
		NS
Convencional		80.20
CIQA	Peso frutos por plantas (Kg)	83.14
CV		15.84
		NS
Convencional		296.75
CIQA	Rendimiento	307.62
CV		15.84
		NS

CIQA= Plástico modificado; Convencional= Plástico control CV= Coeficiente de variación, *=Diferencia Significativa, NS= Diferencia no Significativa.

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se encontró que el contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b, no mostraron diferencias entre las plantas crecidas en los diferentes invernaderos (Tabla 2. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al contenido de clorofilas y carotenoides en plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.), sin embargo, durante los muestreos realizados se presentaron fluctuaciones de sus contenidos, el contenido de clorofila total se encontró entre 16.34 y 33.58 mg g⁻¹ para las plantas crecidas bajo el plástico convencional y entre 11.46 y 38.06 mg g⁻¹ para las plantas crecidas bajo la cubierta CIQA, mientras que los contenidos de clorofila a fueron más altos que los de clorofila b, en las concentraciones de clorofila a se presentaron valores de 9.65 a 19.27 mg g⁻¹ y de 7.30 a 25.06 mg g⁻¹, las concentraciones de clorofila b fueron de 6.68 a 17.73 mg g⁻¹ y de 4.16 a 13.01 mg g⁻¹ para las plantas bajo la cubierta convencional y la

cubierta modificada respectivamente.

El contenido de carotenoides se observó una diferencia significativa durante el primer muestreo, obteniéndose un valor de 3.42 mg g⁻¹ para el invernadero con la cubierta convencional y 2.58 mg g⁻¹ para la cubierta plástica modificada, mientras que en los siguientes muestreos no se encontraron diferencias, pero al igual que el contenido de clorofilas, se presentaron fluctuaciones durante las fechas de muestreo, el valor más alto registrado en todo el ciclo de cultivo fue de 6.94 mg g⁻¹ para las plantas del invernadero convencional y de 6.22 mg g⁻¹ para las desarrolladas bajo el plástico CIQA.

Durante los muestreos realizados en frutos de tomate crecidos bajo diferentes películas plásticas, no se encontraron diferencias en los °brix (Tabla 3. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas para el contenido de ° brix, firmeza, pH, Vitamina C y licopeno en frutos desarrollados en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas), los valores para esta variable se encontraron entre 4.90 y 5.43 % para el invernadero convencional y para la cubierta plástica modificada entre 5.3 y 5.06 %. En la firmeza del fruto tampoco se encontraron diferencias entre las plantas cultivadas bajo la cubierta convencional y la modificada, los rangos oscilaron de 3.0 a 4.20 y de 3.46 a 4.83 kg cm⁻² respectivamente. Tampoco se presentaron diferencias en el pH de los frutos, esta variable se mantuvo entre 4.53 y 4.68 para la cubierta convencional y entre 4.44 y 4.74 para la cubierta modificada. Por otro lado, el contenido de Vitamina C en los frutos de tomate presentó una diferencia significativa durante la primer fecha de muestreo, los frutos crecidos bajo el plástico convencional tuvieron un valor de 8.94 mg 100 g⁻¹ y aquellos desarrollados en el plástico modificado lograron 8.21 mg 100 g⁻¹. Para las siguientes fechas no se presentaron diferencias significativas y los valores de esta variable se encontraron entre 7.48 y 8.94 mg(100 g)⁻¹ para las plantas crecidas bajo la cubierta comercial y entre 7.92 y 8.50 mg(100 g)⁻¹ de Vitamina C) para las plantas crecidas bajo la cubierta modificada.

El contenido de licopeno mostró una diferencia altamente significativa durante el primer muestreo, mostrando el valor más alto en los frutos

Tabla 2. . Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al contenido de clorofilas y carotenoides en plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.

Table 2. Analysis of variance and comparison of means for the content of chlorophylls and carotenoids in plants grown in greenhouses under different plastic covers.

Tratamiento	Variable	Muestreo						
		1 08-0513	2 17-05-13	3 28-05-13	4 05-06-13	5 17-06-13	6 27-06-13	7 08-07-13
Convencional	Clorofila Total (mg g ⁻¹)	16.34 ^a	18.19 ^A	41.16 ^a	33.58 ^a	31.08 ^a	19.77 ^a	30.55 ^a
CIQA		11.46 ^a	21.15 ^b	38.06 ^a	28.90 ^a	33.44 ^a	23.84 ^a	31.80 ^a
CV(%)		16.99	9.96	16.3	10.06	6.5	8.92	4.59
		NS						
Convencional	Clorofila a (mg g ⁻¹)	9.65 ^a	15.13 ^a	27.15 ^a	15.85 ^a	19.27 ^a	9.17 ^a	19.81 ^a
CIQA		7.30 ^a	16.47 ^a	25.06 ^a	18.35 ^a	21.09 ^a	12.00 ^a	20.28 ^a
CV(%)		13.93	5.75	18.59	21.8	4.8	11.99	4.2
		NS						
Convencional	Clorofila b (mg g ⁻¹)	6.68 ^a	3.06 ^a	14.01 ^a	17.73 ^a	11.82 ^a	10.60 ^a	10.74 ^a
CIQA		4.16 ^a	4.67 ^{Aa}	13.01 ^a	10.55 ^a	12.35 ^a	13.64 ^a	11.52 ^a
CV(%)		21.94	27.34	13.29	24.7	15.6	18.72	5.41
		NS						
Convencional	Carotenoides	3.42 ^a	4.62 ^a	6.94 ^a	6.62 ^a	5.26 ^a	3.80 ^a	5.31 ^a
CIQA		2.58 ^b	5.54 ^a	6.22 ^a	4.96 ^a	5.74 ^a	4.49 ^a	4.88 ^a
CV(%)		9.27	12.74	17.38	14.99	9.5	7.91	12.45
		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

CIQA= Plástico modificado; Convencional= Plástico control.= Letra igual en cada media dentro de muestreo es igual (Tukey $p \leq 0.05$). CV= Coeficiente de variación, *=Diferencia Significativa, NS= Diferencia no Significativa.

desarrollados bajo el plástico modificado registrando una concentración de 24.99 mg 100 g⁻¹, mientras que los frutos desarrollados bajo la cubierta convencional, presentaron concentraciones de 24.35 mg 100 g⁻¹. En la segunda fecha de muestreo no se presentaron diferencias, mientras que para el último muestreo se presentó una diferencia altamente significativa entre los tratamientos con una concentración de 29.42 mg 100 g⁻¹ en los frutos desarrollados bajo la cubierta convencional y de 8.93 mg 100 g⁻¹ para la película modificada.

DISCUSIÓN

La modificación de las propiedades ópticas de la película al agregar los pigmentos y las nanopartículas, logró que la radiación al interior del invernadero se viera disminuida al tener una relación directa sobre la temperatura interior, esta variable también se vio afectada debido a que el material

de cubierta del invernadero constituye el agente generador del clima interior del invernadero y dependerá del clima de la zona donde se encuentre el mismo (Jarquín 2013). Un exceso de radiación provoca una sobre excitación en el aparato fotosintético donde en condiciones de alta luminosidad ocasiona una producción de especies reactivas de oxígeno y la inhibición de la síntesis de clorofila o su degradación, ocasionando una reducción de la fotosíntesis y con ello una disminución de la producción de asimilados, afectando el rendimiento (Eckhardt *et al.* 2004) es por ello que durante el ciclo del cultivo se encontraron fluctuaciones en el contenido de clorofilas entre las plantas crecidas en las dos condiciones proporcionadas por los plásticos evaluados y las fechas de muestreo debido a los valores registrados de radiación para los diferentes días.

Otra limitante de niveles altos de luminosidad se debe a que ocasiona altas temperaturas que afectan la producción de tomate (Peil y Galvéz

Tabla 3. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas para el contenido de °brix, firmeza, pH, Vitamina C y Licopeno en frutos desarrollados en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas.

Table 3. Analysis of variance and comparison of means for the content of °brix, firmness, pH, Vitamin C and lycopene in fruit grown in greenhouses under different plastic covers.

Tratamiento	Variable	Muestreo		
		1 03-07-13	2 10-07-13	3 17-07-13
Convencional	°brix	5.43 ^a	4.90 ^a	5.03 ^a
CIQA		5.06 ^a	5.30 ^a	5.26 ^a
CV (%)		10.22	5.71	5.93
		NS	NS	NS
Convencional	Firmeza (kg cm ⁻²)	3.00 ^a	3.73 ^a	4.20 ^a
CIQA		3.46 ^a	3.73 ^a	4.83 ^a
CV (%)		9.10	19.56	9.17
		NS	NS	NS
Convencional	pH	4.53 ^a	4.50 ^a	4.68 ^a
CIQA		4.44 ^a	4.49 ^a	4.74 ^a
CV (%)		2.15	0.87	1.11
		NS	NS	NS
Convencional	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	8.94 ^a	8.80 ^a	7.48 ^a
CIQA		8.21 ^b	7.92 ^a	8.50 ^a
CV (%)		2.96	13.92	14.2
		*	NS	NS
Convencional	Licopeno (mg 100 g ⁻¹)	24.35 ^b	12.21 ^a	29.42 ^a
CIQA		24.99 ^a	10.49 ^a	8.93 ^b
CV (%)		0.67	28.82	7.33
		**	NS	**

CIQA= Plástico modificado; Convencional= Plástico control.= Letra igual en cada media dentro de muestreo es igual (Tukey $p \leq 0.05$). CV= Coeficiente de variación, **=Diferencia Altamente Significativa, *=Diferencia Significativa, NS=Diferencia no Significativa.

2004), ya que el cuajado de los frutos se reduce cuando el máximo de temperatura diaria es en promedio por encima de los 30 °C y la mínima diaria por encima de los 21 °C, sin embargo, las condiciones proporcionadas por ambos plásticos no afectaron de forma negativa la producción ya que el número de frutos producidos por planta se encuentra por encima de los reportados por Santiago *et al.* (1998) quienes indican de 30 a 66 frutos, mientras que para el peso total de frutos por planta se encuentra aproximado a los reportados en ese trabajo que son de 63.1 a 81.4 Kg por planta, esto en un total de cortes que van de 11 a 15.

El rendimiento de 296.3 y 307.6 t ha⁻¹ para

las plantas desarrolladas bajo el plástico convencional y las desarrolladas bajo la cubierta modificada, fueron superiores a los encontrados por Rodríguez *et al.* (2008) el cual fue de 279.3 t ha⁻¹. Se puede considerar una producción comercial exitosa de tomate en invernadero con un rendimiento de 200 t ha⁻¹ por año como mínimo (Cotter y Gómez 1981), por lo cual la película modificada, no tuvo efecto negativo sobre esta variable pues los resultados obtenidos fueron para un ciclo de 113 DDT.

El contenido de los diferentes tipos de clorofilas en las plantas crecidas en los ambientes evaluados, no mostraron diferencias estadísticas significa-

tivas por lo que se asume que la tasa fotosintética no fue afectada ya que depende en gran medida del contenido de pigmentos (Carter y Spiering 2002). Aunque no existieron diferencias significativas en el contenido de ambos tipos de clorofilas (a y b) el análisis de las mismas mostraron una mayor concentración de la clorofila a con respecto a la b lo cual se explica porque en ambos fotosistemas las moléculas de clorofila a actúan como sistemas de pigmentos para la captura de energía luminosa (Govindjee 1994), mientras que la clorofila b actúa transmitiendo la energía absorbida hacia el centro de reacción y solo se encuentra en el fotosistema I (De Las Rivas 2008.)

La diferencia significativa que se encontró durante el primer muestreo en la concentración de carotenoides para las plantas crecidas en el invernadero convencional podría deberse a la función de fotoprotección de estos compuestos para limitar los efectos de una alta iluminación debido a su propiedad para desactivar la clorofila triplete y el oxígeno singlete y evitar el daño del aparato fotosintético inducido por exceso de luz (Jahns y Holzwarth 2012; Johnson *et al.* 1993, Southon y Faulks 2001).

Los resultados encontrados en el contenido de °brix, pH y firmeza no se presentaron diferencias, estos resultados concuerdan con los reportados por Peralta *et al.* (2012) quienes encontraron contenidos entre 4.1 y 5.4 de °brix en ocho líneas de tomate producido en invernadero, mientras que el pH encontrado en los frutos son aproximados al reportado por Juárez *et al.* (2009) quienes encontraron valores entre 4.0 a 4.4. Por otro lado, la firmeza de los frutos en este estudio fue mayor a la reportada por Robledo *et al.* (2005) en frutos de tomate tipo saladete, los cuales mostraron una firmeza de 2.55 kg cm⁻².

En el presente estudio la diferencia de radiación transmitida por la cubierta plástica CIQA y la temperatura al interior de este invernadero no tuvieron efectos significativos sobre el contenido de °brix, pH la firmeza de los frutos de tomate y su contenido de Vitamina C, lo anterior es apoyado por los resultados encontrados por Riga *et al.* (2008) quienes mostraron que la temperatura acumulada tiene mayor influencia sobre la calidad del tomate

que la PAR acumulada, ya que la temperatura se encuentra fuertemente correlacionada con la firmeza, el contenido de sólidos solubles y el pH, mientras que la PAR se encuentra débilmente correlacionada con la firmeza y los sólidos solubles.

Durante el primer muestreo se presentó la mayor diferencia entre el promedio de radiación transmitida por el plástico convencional con respecto al plástico modificado, lo que podría explicar porque solo durante este periodo se presentó la diferencia significativa en el contenido de Vitamina C en los frutos desarrollados bajo la cubierta convencional, ya que la concentración de este antioxidante depende de factores como la radiación y la temperatura que en este trabajo, fueron modificados por la cubierta CIQA con respecto a los registrados por el plástico convencional. Al respecto Lee (2000) menciona que cuanto mayor sea la intensidad de la luz durante la estación de crecimiento, mayor es el contenido de Vitamina C en los tejidos vegetales. En tomate se han encontrado concentraciones que van de 5.60 a 20.02 mg 100 g⁻¹ (Slimestad y Verheul 2005), lo que indica que las concentraciones reportadas en este estudio se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores para este cultivo.

Las concentraciones de licopeno obtenidos en esta investigación en las etapas de maduración y comercialización, se encuentran dentro del rango reportado por Levy y Sharoni (2004) las diferencias en el contenido de este carotenoide durante las fechas de muestreo fueron ocasionadas por las condiciones microclimáticas generadas por los plásticos, pues se ha demostrado que tanto la intensidad (cantidad) y longitudes de onda (calidad) de luz así como la temperatura ambiental, tienen un efecto importante sobre la síntesis y acumulación de licopeno en frutos de tomate (Jarquín 2013). Pól *et al.* (2004) encontraron valores entre 3.1 y 7.7 mg 100 g⁻¹ y señalan que el contenido de este carotenoide en los frutos depende del área de crecimiento, de la estación y de la variedad.

Durante el último muestreo de esta variable se encontró una diferencia importante en el contenido de licopeno en los frutos de ambos invernaderos, la baja concentración en frutos crecidos bajo la cu-

bierta modificada, quizá pueda estar influenciada por la posición de los mismos en la planta, así como la distribución de las plantas en el invernadero, Saveedra (2005) atribuye este efecto a la cantidad de luz recibida por la hilera, ya que en posición este-oeste se recibe mayor radiación de un lado mientras que del otro se mantiene sombreado, lo que favorecería la síntesis de licopeno, mientras que la exposición norte-sur recibe radiación por ambos lados y con ello una mayor acumulación de temperatura, lo que podría inhibir la síntesis del carotenoide. En cuanto a la posición del fruto en la planta se atribuye a que la fruta que se encuentra debajo está más protegida de la radiación directa y con ello se atenúa la temperatura, además de las condiciones microclimáticas en las que se desarrolló el cultivo.

CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que la película plástica modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes disminuyó considerablemente la radiación al interior del invernadero, y con ello también la temperatura. Estas condiciones favorecieron ligeramente el número y tamaño de los frutos, sin embargo no afectaron de forma significativa los aspectos bioquímicos evaluados en este trabajo.

Por lo anterior, se propone que se realicen estudios en diferentes zonas geográficas con una incidencia de mayor radiación, o se prueben cultivos sensibles a una alta irradiación

LITERATURA CITADA

- AOAC (1990) Official Methods of Analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1 15th edition. Vol. II. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C. USA. pp: 829-830.
- Britton G (1985) General carotenoid method. In: Methods in enzymology. Academic Press (Eds): J.H. Law and H.C. Rilling. New York. 111: 113-149.
- Carter AG, Spiering, BA (2002) Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. Journal Environmental Quality 31: 1424-1432.
- Cerny ATN, Rajapakse C, Ryu YO (1999) Recent development in photoselective greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tallahassee, Florida. USA. pp: 24-26.
- Cotter DJ, Gómez RE (1981) Cooperative extensions service. 400H11. U. New Mexico, USA. 4 p.
- De Las Rivas J (2008) Utilización de la energía luminosa en la fotosíntesis. En: Azcón Bieto J, Talón M. (Eds) Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw Hill. México. pp. 155-172.
- Davis AR, Fish WW, Perkins P (2003) A rapid hexane - free for analyzing lycopene content in watermelon. Journal Food Science 68(1): 328-332.
- Dorais M, Badrane M, Gosellin A, Hao X, Papadopoulos A (2002) Greenhouse covering materials and supplemental lighting affect growth, yield, photosynthesis, y leaf carbohydrate synthesis of tomato plants. Journal of the American Society for Horticultural Science. 127 (5): 819-824.
- Eckhardt, U., Grimm, B., Hörtensteiner, S (2004) Recent advances in chlorophyll biosynthesis and breakdown in higher plants. Plant Molecular biology 56(1): 1-14.
- Ferri CP, Formaggio AR, Schiavinato MA (2004) Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies [*Glycine max* (L.) Merrill]. Brazilian Journal of Plant Physiology 16(3): 131-136.
- Gautier H, Rocci A, Buret M, Grasselly D, Dumas Y, Causse M (2005) Effect of photoselective filters on the physical and chemical traits of vine-ripened tomato fruits. Canadian Journal of Plant Science 85(2): 439-446.

- Govindjee (1994) Función de la clorofila a en la fotosíntesis. En: Salisbury, F. B. y C. W. Ross (Eds.) Fisiología Vegetal. Grupo Ed. Interamérica. EE.UU. pp: 246-24.
- Hallidri M (2001) Comparison of the different mulching materials on the growth, yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Acta Horticulturae 559 (2): 49-54.
- Jahns P, Holzwarth AR (2012) The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photo-system II. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics 1817(1): 182-193.
- Jarquín EL (2013) Estudio del efecto de la calidad de luz sobre la síntesis y la acumulación de licopeno en frutos de tomate cultivados en invernadero. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/123456789/387>. Fecha de consulta 27 de noviembre de 2013.
- Johnson GN, Scholes JD, Horton P, Young AJ (1993) Relationships between carotenoid composition and growth habit in British plant species. Plant Cell Environmental 16: 681-686.
- Juárez LP, Castro BR, Colinas LT, Ramírez V P, Sandoval VM, Reed DW, King S (2009) Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 5-9.
- Lee SK, Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology 20(3): 207-220.
- Levy J, Sharoni Y (2004) The functions of tomato lycopene and its role in human health. The Journal of the American Botanical Council 62: 49-56.
- Li S, Rajapakse NC, Young RE (2003) Far-red light absorbing photosensitive plastic films affect growth and flowering of chrysanthemum cultivars. Horticultural Science 38(2): 284-287.
- Lichtenthaler HK (1987) Chlorophyll and carotenoids: Pigments of Photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol 148: 350-382
- Mascarini L, Lorenzo GA, Burgos ML (2013) Fotocontrol de la productividad y elongación de tallos de tres cultivares de Rosa x hybrida L. bajo cubiertas de polietileno fotoselectivas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 45(1): 11-25.
- Márquez QC, Robledo TV, Benavides MA, Vázquez BM (2010) Respuesta en la calidad de tomate cherry, al uso de macrotúneles con película fotoselectiva. En: Tópicos Selectos en Agronomía Tropical (Eds.) Maximiano Antonio Estrada-Botello, Rodolfo Osorio-Osorio, Nancy Patricia Brito-Manzano y Rufo Sánchez-Hernández. Villahermosa, Tabasco. México. pp: 79-84.
- Noble R, Holder R (1989) Pot plant production under various greenhouse cladding materials. Journal of Horticultural Science 64: 485-493.
- Peralta P, Carrillo RJC, Chávez SJL, Vera GAM, Pérez LI (2012) Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Phytón Revista Internacional de Botánica Experimental 81(1): 15-22.
- Papadopoulos AP, Hao X (1997) Effects of the greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity y energy use. Scientia Horticulturae 68: 113-123.
- Riga AM, Garbisu C (2008) Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. Journal of the Science of Food and Agriculture 88(1): 158-166.
- Robledo TV, Benavides MA, Ramírez H, Hernández DJ, Sánchez LA, Peralta MRM (2005) Efectos de prohexadiona-ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2): 283-290.

- Rodríguez DN, Pedro Cano RP, Figueroa VU, Palomo GA, Favela E (2008) Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (3): 265-272.
- Rodríguez RR, Tabares RJM, San Juan MJA (1997). *Cultivo Moderno del Tomate*. 2da. Edición. Ediciones Muldi-Presa. España. 257 p.
- Van der Ploeg A, Heuvelink E (2005) Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 80: 652-659.
- Santiago J, Mendoza M, Borrego F (1998) Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* L., Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- SAS institute (2001) PROC user's manual. SAS institute, Cary, NC, USA.
- Saveedra Del RG (2005) Efecto del medio ambiente en el contenido de licopeno y sólidos solubles del tomate para procesamiento. En: *Seminario Internacional producción de tomate para procesamiento*. (Eds.) Gabriel Saavedra Del Real, Marisol González Yañez. Santiago, Chile. pp: 45-52.
- Slimestad R, Verheul MJ (2005) Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(8): 3114-3119.
- Southon S, Faulks R (2001) Predicción de la biodisponibilidad de los antioxidantes de los alimentos: el caso de los carotenoides. En: Pokorny J, Yanishlieva N, Gordon M. (eds) *Antioxidantes de los alimentos, Aplicaciones prácticas* : Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. pp. 119-137.
- Strickland JDH and Parsons TR (1972) A practical handbook of seawaters analysis. *Bulletin. Fisheries Research Board of Canada* 167:1-20.
- Peil RM, Gálvez JL (2004) Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira* 22(2): 265-270.
- Pól J, Hyötyläinen T, Ranta-aho O, Rickkola M (2004) Determination of lycopene in food by on-line SFE coupled to HPLC using a single monolithic column for trapping and separation, en: *Journal of Chromatography* 1052: 25-31.
- United States Department of Agriculture. (USDA) (1997) United States standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Fruits and Vegetable Division, Fresh Products Branch. Washington, D.C., USA. 13 p.