

EFFECTO DE UNA PELÍCULA PLÁSTICA MODIFICADA CON
NANOPARTÍCULAS Y PIGMENTOS FLUORESCENTES, EN ASPECTOS
AGRONÓMICOS, FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS DEL CULTIVO DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

EMA LAURA GARCÍA ENCISO

TESIS

Presentado como requisito para

Obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCION



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

EFFECTO DE UNA PELÍCULA PLÁSTICA MODIFICADA CON
NANOPARTÍCULAS Y PIGMENTOS FLUORESCENTES, EN ASPECTOS
AGRONÓMICOS, FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS DEL CULTIVO DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

TESIS

Por:

EMA LAURA GARCIA ENCISO

Que se somete a consideración del comité particular de asesoría y que es
aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCION

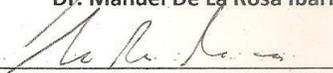
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



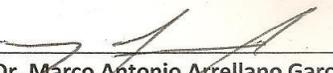
Dr. Manuel De La Rosa Ibarra

Asesor:



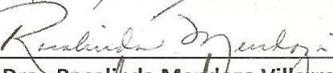
MC. Maria Rosario Quezada Martin

Asesor:



Dr. Marco Antonio Arrellano Garcia

Asesor:



Dra. Rosalinda Merdoza Villarreal



Dr. Fernando Ruiz Zárate

Subdirector de Postgrado

Buнавista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2013.

Dedicatoria

A mis padres, *Francisco* y *Paula*, por todo el cariño y apoyo que me han dado, gracias por ser mi ejemplo y también por la hermosa familia que me han dado.

A mis hermanos *Gabriel*, *Gloría*, *Brenda* y *Elena*, quienes han estado presentes en cada paso de mi caminar, y que cada quien y a su manera me ha dado sus muestras de cariño, y sus palabras han hecho eco en mi para continuar.

A mi *Ely*, gracias por acompañarme, a vida ha sido más hermosa desde que llegaste.

A mi *Belli*, quien siempre me ha estado conmigo apoyándome y dándome su cariño.

A mis abuelos *Guadalupe* y *Jesús*, gracias por sus oraciones y su apoyo incondicional.

A mis tíos *Imelda*, *David*, *Ana*, gracias por animarme a cumplir mis sueños, por estar pendientes de mi y por su cariño.

A mi pequeña familia en Saltillo *Alex* y *Carlos* con quien compartí grandes momentos durante estos dos años y de quien siempre recibí las palabras correctas para no darme por vencida.

A mi gran amigo *Edgar Cárdenas*, con quien tuve la fortuna de compartir esta investigación, y quien me dio motivación para continuar.

A *William* gracias por toda la paciencia, cariño y apoyo que me has brindado.

A mis compañeros de Maestría, con quien compartí todos los sentimientos que provocan realizar una maestría.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por permitirme lograr esta meta, por la gente a mí alrededor y por qué siempre me ha acompañado.

Al **CONACYT**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

Al **Dr. Manuel De La Rosa Ibarra**, quien siempre ha creído en mí, por confiar y darme la oportunidad de cumplir esta meta, gracias por todas las enseñanzas.

A la **MC Rosario Quezada** y al **Dr. Marco Arellano**, por permitirme formar parte de este equipo de trabajo, y por el apoyo recibido durante el desarrollo de esta investigación.

A la **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal**, por su valiosa participación en la realización de este estudio

A las Técnicas, **Francisca Calvillo, Angélica Martínez y Martina Casillas de la Cruz**, quienes me proporcionaron su asesoría y ayuda incondicional para la realización de este trabajo.

COMPENDIO

**EFFECTO DE UNA PELÍCULA PLÁSTICA MODIFICADA CON
NANOPARTÍCULAS Y PIGMENTOS FLUORESCENTES, EN ASPECTOS
AGRONÓMICOS, FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS DEL CULTIVO DE
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

Por

EMA LAURA GARCÍA ENCISO

MAESTRO EN CIENCIAS

EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCION

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Enero de 2014

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra –Asesor–

Palabras clave: radiación, temperatura, *Solanum lycopersicum*, licopeno, carotenoides.

El objetivo del estudio fue conocer el efecto de una cubierta para invernadero modificada (CIQA) en algunas variables agronómicas de plantas de tomate. El trabajo se realizó en el Centro de investigación en Química Aplicada, en Saltillo

Coahuila, México en 2013. Se instalaron dos invernaderos, uno con 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 y se determinó el diámetro de tallo, altura, área foliar y la acumulación de biomasa en siete fechas durante el desarrollo del cultivo, también se determinó el tamaño del fruto y rendimiento. Se usó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones, donde los tratamientos fueron las películas para invernadero y cada repetición fue una planta. 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 CIQA y el exterior. Se encontraron diferencias en la altura en dos fechas de muestreo, en el primer muestreo la mayor altura la obtuvieron las plantas bajo la película CIQA, con 54.33 cm y 47.33 con la cubierta convencional, para el quinto muestreo la altura fue de 252.66 cm, en las plantas bajo el plástico convencional y 231.66 cm para las plantas con el plástico CIQA, también 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, lo que no afecta los parámetros agronómicos de plantas de tomate ni afecta los estándares de calidad de los frutos y el rendimiento del cultivo.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
I. INTRODUCCION	11
II. OBJETIVO GENERAL	14
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
IV. HIPÓTESIS.....	16
V. REVISIÓN DE LITERATURA	17
VI. ARTICULO.....	27
VII. ARTICULO.....	44
VIII. CONCLUSIONES.....	66
I. LITERATURA CITADA	67

INDICE DE CUADROS

PAGINA

Cuadro 1. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al diámetro de tallo, altura, área foliar y acumulación de biomasa de plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.	33
Cuadro 2. Clasificación del tamaño de frutos de tomate crecidos en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas de acuerdo a la norma NMX-FF-031-1997-SCFI.....	34
Tabla 1. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al contenido de clorofilas y carotenoides en plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.	63
Tabla 2. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas para el contenido de grados brix, firmeza, pH, Vitamina C y Licopeno en frutos desarrollados en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas	64
Tabla 3. Componentes de rendimiento de un cultivo de tomate crecido bajo diferentes cubiertas plásticas	65

INDICE DE FIGURAS

PAGINA

Figura 1. Lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas durante el ciclo de cultivo de tomate.....	33
Figura 2. Lecturas máximas de temperatura en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas durante el ciclo de cultivo de tomate.....	34

I. INTRODUCCION

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es común su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. Los nuevos desarrollos de plásticos para invernaderos se han enfocado a la modificación de las propiedades ópticas basados en los efectos que causan los diferentes tipos de radiación en los cultivos (Danserau et al., 1998; Lee et al., 2000). La luz es el factor principal para el crecimiento de la planta pues a diferente calidad y la cantidad de la luz que perciben las especies, se determinan la variabilidad en la estructura y productividad, por ello, la radiación es un elemento muy importante para el control climático de invernadero porque afecta de manera significativa la temperatura (Cázares y Figueroa, 2003).

Un cambio en las propiedades físicas y ópticas de las películas plásticas que cubren los invernaderos, pueden modificar la composición espectral lumínica transmitida lo cual modifica el desarrollo de la planta, en algunos casos para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola y en otros casos, puede ocurrir lo contrario (Rajapakse et al., 2000), pues 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) 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, (Van Der Ploged & Heuvelink 2005).

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 que contienen diferentes pigmentos fluorescentes que son efectivos para reducir la elongación y lograr una producción más compacta de pepino (*Cucumis sativus* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Li et al. 2003), también se ha reportado que con el uso de cubiertas fotoselectivas se aumentó la cantidad y calidad de determinados cultivares de rosas (Mascarini et al. 2013) mientras que en tomate al usar películas fotoselectivas se encontró un aumento en los sólidos solubles, (Márquez et al. 2010).

Enfocándose en el control del microclima, resulta importante disminuir las temperaturas altas y mantener la humedad relativa adecuada para la producción (Medina et al., 2010) ya que los incrementos de la temperatura se consideran un factor limitante en el desarrollo de las hortalizas, 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.

En base a lo anterior, en el presente trabajo se planteó como objetivo, la evaluación de una película modificada con nano partículas y pigmentos fluorescentes en el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate, pues resulta necesario desarrollar cubiertas plásticas que modifiquen y permitan una mayor difusión de la radiación fotosintéticamente activa que impacte en las respuestas de la planta y por consecuencia estos cambios se vean reflejados en un mejor desarrollo y productividad del cultivo.

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar una película plástica modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes que permita mejor selección de radiación visible y mayor difusión de luz, que se refleje en mejor desarrollo, crecimiento y productividad del cultivo de tomate.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de una película modificada en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate
- Evaluar el efecto de una película modificada sobre la productividad del cultivo
- Determinar los cambios en el contenido de clorofilas y carotenoides en las plantas de tomate.
- Evaluar el efecto de una película modificada sobre la calidad del fruto del cultivo.

IV. HIPÓTESIS

La película plástica formulada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes, modificará positivamente el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo de tomate, en comparación con el polietileno tradicional.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

Agricultura protegida

El objetivo de la Agricultura de Ambiente Controlado consiste en modificar el ambiente natural para obtener el óptimo desarrollo de la planta (Herrera, 1999) tradicionalmente la manipulación de crecimiento y desarrollo de las plantas ha sido una importante área de enfoque de investigación en la Fisiología Vegetal dentro de entornos controlados (Kubota *et al.*, 2006), pues los sistemas de control y gestión ambiental son esenciales para obtener las tasas de crecimiento predecibles y satisfactorias de los cultivos, en el rendimiento y calidad de la fruta (Fleisher *et al.*, 2006) sin embargo, las estrategias de control del medio ambiente se pueden mejorar a través de un conocimiento más detallado de crecimiento del cultivo y las respuestas de desarrollo para el medio ambiente (Sigrimis y Rerras, 1996), lo cual podría ser posible mediante el uso de plástico agrícolas, pues estos, proveen a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión del mayor rendimiento potencial, dentro de dichas prácticas se destaca el manejo de los invernaderos (Cebula, 1995).

Invernaderos

Las razones iniciales para el uso de plásticos en la horticultura fueron en primer lugar, para aumentar la precocidad y la productividad total de los cultivos de alto valor, en segundo lugar, para tomar ventaja de la producción fuera de la temporada y tercero, usar algo más efectivo y económico que las cubiertas de vidrio, por lo cual la plasticultura es una herramienta de gestión que permite a los productores de hortalizas obtener mayores rendimientos por unidad de tierra, pues modifica el microclima alrededor de la cosecha (Wittwer, 1993).

El diseño final de un invernadero tiene que representar un equilibrio entre el diseño estructural general, las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de revestimiento y los requisitos específicos agronómicos de la cosecha (Briassoulis, 1997), es por eso que la elección de un tipo de invernadero para un cultivo determinado, está en función de una serie de aspectos técnicos tales como las exigencias bioclimáticas del cultivo y las características climáticas de la zona o área geográfica (Matallana y Montero 1995). Este tipo de sistemas productivos requieren de un manejo y un control más intensivo que los sistemas tradicionales en los factores clave en la producción (Wittwer, 1993).

Radiación

Las plantas son organismos sésiles fotoautotróficos que deben adaptarse a los factores ambientales que las rodean, siendo la luz un factor ambiental de gran importancia ya que no sólo es la fuente de energía para la fotosíntesis,

sino también es una señal de información que influye desde la germinación hasta la floración. Las plantas perciben la calidad, la intensidad, la duración y la dirección de la luz y proporcionan señales adaptativas directas para optimizar el crecimiento, la supervivencia y la reproducción (Heijde y Ulm, 2012).

A diferente calidad y cantidad de luz percibida por las especies, se determina la variabilidad en la estructura y productividad, es por ello que la radiación es un elemento muy importante para el control climático de invernadero porque afecta de manera significativa la temperatura (Cázares y Figueroa, 2003). Un cambio en las propiedades físicas y ópticas de las películas plásticas que cubren los invernaderos, puede modificar la composición espectral lumínica transmitida, lo cual modifica el desarrollo de la planta, y en algunos casos se puede incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola mientras que en otros, puede ocurrir lo contrario (Li *et al.*, 2000).

Ejemplo de estas modificaciones se encontraron al estudiar el efecto de diferentes distribuciones espectrales sobre crisantemos, tomate, lechuga y noche buena, se encontró que la luz azul redujo el peso seco y la altura de las plantas de tomate, crisantemo y lechuga, mientras que con luz verde y amarilla, esta variable se vio favorecida, la luz azul también redujo el área foliar en todas la especies, siendo la luz verde y amarilla la que indujo el valor más elevado de este parámetro, por otro lado el color de las hojas crecidas en luz azul era más oscuro, mientras que las plantas de tomate, crisantemo y lechuga crecidas en verde y amarillo tenían un color más claro (Mortensen y Stromme, 1987).

Temperatura

La temperatura tiene una incidencia fundamental en la realización de los diversos estadios del desarrollo de las plantas como la germinación, floración, fructificación, entre otros (Cols, 2003), en pimiento las condiciones de temperatura influenciaron fuertemente el desarrollo de flores y frutos (Polowick y Sawhney, 1985)

Sin embargo algunos cultivos al ser desarrollados bajo altas temperaturas presentan trastornos, tal es el caso de la esterilidad masculina y femenina que se indujo en las flores de canola (*Brassica napus* L. cv Westar.) cultivadas en condiciones de alta temperatura, las cuales fueron de 32/26 °C día / noche, afectando negativamente el rendimiento de esta especie cultivada en campo (Polowick, y Sawhney, 1988), al evaluar el efecto combinado entre la temperatura (7.4 y 24.2°C) y la radiación (1.9 y 8.1 MJ m⁻²d⁻¹), el número de hojas formadas antes de que aparecieran los primeros frutos de berenjena, se vió disminuido cuando la cantidad de luz aumentó, y el efecto de la luz disminuyó a medida que la temperatura también lo hizo (Cemek *et al.*, 2006). También se ha reportado que influye en el transporte y almacenamiento de los asimilados, durante el desarrollo del fruto (Guichard *et al*, 2001). Además, Peil y Gálvez (2004) indican que valores muy altos de luminosidad limitan la producción de tomate en invernadero debido a las altas temperaturas que se alcanzan al interior del mismo.

Como 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), con el 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.

Películas fotoselectivas

Las coberturas de plástico tienen un impacto directo sobre el microclima alrededor de la planta ya que modifican el balance de radiación (absorbida vs. reflejada) de la superficie y la disminución de la pérdida de agua del suelo (Liakatas *et al.*, 1986 ; Tanner, 1974) en base a esto, es posible aprovechar mejor los rangos de longitudes de onda que son útiles a la planta a través de cubiertas fotoselectivas, cuya función es transmitir o incluso incrementar la radiación incidente en aquellos rangos de longitudes de onda que estimulan la actividad fotosintética (Larsen *et al.*, 2003). Por esta razón, ha surgido un interés en conocer la interacción sobre los efectos de formas de uso y tipos de plástico en las plantas, así como el efecto de la radiación sobre los cultivos por medio de las modificaciones de la luz visible y los efectos fotométricos para controlar el microclima de los invernaderos (Bonafont, 2005)

El uso de cubiertas que bloquean parte de la radiación entrante se ha utilizado históricamente en los invernaderos ubicados en áreas con alta radiación solar y temperaturas excesivas (Garcia *et al.*, 2006) por esta razón han comenzado a aparecer en el mercado diferentes tipos de plásticos para invernaderos, desarrollados para acondicionar la radiación que incide sobre el material vegetal, unas veces filtrándolo y otras intensificándolo a determinadas longitudes de onda, entre estos destacan los filmes difusores que se preparan

añadiendo en la formulación aditivos inorgánicos térmicos o no, compuestos por partículas microscópicas que hacen que la luz choque contra ellas y se desvíe de la dirección incidente hacia todas las direcciones, simplemente disminuyendo el componente de radiación directa frente a la difusa en el total de la luz transmitida y aquellos llamados fluorescentes que modifican la calidad de la luz solar, en cuanto a su distribución espectral (Espí, 2012).

Ejemplo de estas modificaciones es una cubierta con alta transmisión de la luz, pero de baja transmisión de infrarrojo cercano que se traduce en un mejor clima durante la temporada de verano y un aumento de la potencia de difusión del material de la cubierta, que podría resultar en una mejor distribución de la radiación sobre el dosel del cultivo y por lo tanto, conducir a aumento sustancial de la radiación absorbida y la mejora de la eficiencia de uso de la radiación y el rendimiento (Heuvelink y Gonzalez-Real, 2007). Para un cultivo en particular, la temperatura, la luz, el suministro de agua y la humedad, pueden ser demasiado altos o demasiado bajos para la producción óptima (Peet, 1997), es por ello que la manipulación espectral de este tipo de películas está dirigido específicamente para promover respuestas fisiológicas deseadas, mientras que la dispersión mejora la penetración de la luz modificada a nivel de la copa de la planta (Shahak *et al.*, 2008).

Tomate

La luz (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) es uno de los factores que afectan en mayor grado la productividad en tomate de invernadero, una disminución en la densidad de flujo fotónico y la duración del período de luz

debido a los cambios estacionales, puede reducir el rendimiento de frutos de tomate en invernadero (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997) . Para este cultivo se consideran valores de radiación total diaria en torno a $0,85 \text{ MJ/m}^2$ como mínimos para la floración y cuajado del fruto (Kinet, 1977), también se ha reportado que si las plantas son iluminadas continuamente, se desarrolla una clorosis fuerte y se inhibe la floración, sugiriéndose que la luz es uno de los factores más importantes en la regulación de la diferenciación floral (Kristoffersen, 1963).

Es conocido el efecto de la alta iluminación por el exceso de energía de la luz en la antena del PSII, desencadenando un estrés fotooxidativo, a causa de la formación de especies reactivas de oxígenos como la clorofila triplete y el oxígeno singlete causando daño al aparato fotosintético (Jahns y Holzwarth, 2012).

Por otro lado los ejemplos de trastornos que resultan de la temperatura y el estrés hídrico se dan para los cultivos de hortalizas seleccionadas, con un énfasis en el tomate (Peet, 1997) pues este cultivo requiere temperaturas superiores a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y menores de $35 \text{ }^\circ\text{C}$, incluso para cada fase requiere un rango óptimo de temperatura del aire, es decir, la germinación necesita de 16 a 29°C , durante la etapa vegetativa el rango debe ser de 20 a $24 \text{ }^\circ\text{C}$; para florecer se requiere de 18 a $24 \text{ }^\circ\text{C}$; para el amarre de los frutos de 13 a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ durante la noche, y de 19 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ durante el día, mientras que para la maduración de los frutos de 20 a $24 \text{ }^\circ\text{C}$ (Gómez *et al.*, 2000;. Adams y Valdés, 2002; Alvarenga, 2004).

Elevadas temperaturas puede inducir una fotosíntesis anómala lo que provocaría que la energía de la radiación se encauzara hacia procesos fotodinámicos negativos, tal es el caso del llamado “planchado” del tomate, el cual es una fisiopatía que reduce la calidad de los frutos (Rabinowitch *et al.*, 1986).

Los factores climáticos pueden influir en la distribución a corto plazo de asimilados, como consecuencia de la respuesta de la potencia de demanda de los órganos individuales a los cambios de las condiciones externas, y también a largo plazo, a través del efecto que ejercen sobre el número de órganos demanda que crecen en la planta (Marcelis, 1993a). Al evaluar el efecto combinado entre la temperatura (7.4 y 24.2°C) y la radiación (1.9 y 8.1 MJ m⁻² d⁻¹) el número de hojas formadas antes de que aparecieran los primeros frutos de tomate se vió disminuido cuando la cantidad de luz aumentó, y el efecto de la luz disminuyó a medida que la temperatura también lo hizo, el estudio también mostró que la posición de aparición del primer racimo floral y frutal para el tomate, podía ser controlado mediante la manipulación de la luz y de la temperatura en los invernaderos (Cemek *et al.*, 2006).

La adaptación a los cambios ambientales depende de toda una serie de ajustes moleculares, fisiológicos y morfológicos que se presentan como respuesta a las modificaciones de la irradiancia, la calidad espectral, el fotoperíodo, la temperatura, etc. (Chamovitz y Deng, 1996).

Calidad de frutos

La calidad del tomate se encuentra determinada por el tamaño, el sabor que es en gran medida determinado por el azúcar (estimado por el contenido de sólidos solubles) y la acidez (Moretti *et al.*, 1998). El color de tomate es otro factor importante en la preferencia de los consumidores (Thorne y Álvarez, 1982; Batu, 2003), y otra característica apreciada es el contenido de ciertos antioxidantes como el licopeno que le da el color rojo al fruto (Hobson y Grierson, 1993) y el contenido de Vitamina C.

Al cultivar tomate en condiciones de baja temperatura, se obtuvieron frutas más grandes, tanto en el peso y tamaño fresco y contenían un mayor número de lóculos en comparación de aquellos frutos crecidos a temperaturas intermedias, los cuales eran más grandes que los desarrollados en altas temperaturas (Sawhney y Polowick, 1985).

El contenido de vitamina C depende de factores como la temperatura y la irradiancia (Toor *et al.*, 2006), al respecto Lee (2000) menciona que cuanto mayor sea la intensidad de la luz durante la estación de crecimiento, mayor será el contenido de esta vitamina, sin embargo una disminución en el ácido ascórbico puede estar relacionado con el inicio de la maduración, por el aumento de la actividad de la ascorbato oxidasa y el cambio de color (Yahia, 2001). El contenido de licopeno en el fruto también se encuentra influenciado por la radiación y la temperatura, ya que temperaturas por abajo de 12 °C inhiben fuertemente la biosíntesis de licopeno pero temperaturas por encima de 32 °C detienen el proceso (Grolier, 2003), además se señala que el contenido

de este carotenoide en las frutas depende del área de crecimiento, de la estación y de la variedad (Pól *et al.*, 2004.).

VI. ARTÍCULO.

EFFECTO DE UNA PELICULA PLASTICA MODIFICADA EN ASPECTOS AGRONOMICOS DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

**EFFECTO DE UNA PELICULA PLASTICA MODIFICADA EN ASPECTOS
AGRONOMICOS DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

Emilia Laura García Enciso¹

Manuel De La Rosa Ibarra^{1*}

Maria del Rosario Quezada Martín²

Marco Antonio Arellano García²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. C.P. 25315, México. Tel. 018444110317. (emita_ma13@hotmail.com). *Autor para correspondencia: (mrbarra@yahoo.com).

² Centro de Investigación en Química Aplicada. Departamento de Agroplásticos. Saltillo, Coahuila. CP.25294. Tel: 018444389830 (rosario.quezada@ciqa.edu.mx), (marco.arellano@ciqa.edu.mx)

RESUMEN

El objetivo del estudio fue conocer el efecto de una cubierta para invernadero modificada (CIQA) en algunas variables agronómicas de plantas de tomate. El trabajo se realizó en el Centro de investigación en Química Aplicada, en Saltillo Coahuila, México en 2013. Se instalaron dos invernaderos, uno con 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 y se determinó el diámetro de tallo, altura, área foliar y la acumulación de biomasa en siete fechas durante el desarrollo del cultivo, también se determinó el tamaño del fruto y rendimiento. 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 CIQA y el exterior. Se encontraron

diferencias en la altura en dos fechas de muestreo, en el primer muestreo la mayor altura la obtuvieron las plantas bajo la película CIQA, con 54.33 cm y 47.33 con la cubierta convencional, para el quinto muestreo la altura fue de 252.66 cm, en las plantas bajo el plástico convencional y 231.66 cm para las plantas con el plástico CIQA. Lo anterior permite concluir que la película plástica CIQA, disminuye la radiación y la temperatura al interior del invernadero, lo que no afecta los parámetros agronómicos de plantas de tomate.

Palabras clave: radiación, temperatura, *Solanum lycopersicum*

Abstract

This study was to determine the effect of a modified greenhouse cover (CIQA) in some agronomic traits of tomato plants. The work was performed in 2013 at the Center for Research in Applied Chemistry, located in Saltillo Coahuila, Mexico. Two greenhouses were installed, one with the conventional plastic and the other with the modified film. Sensors were installed to measure photosynthetically active radiation (PAR) and temperature inside and outside the greenhouse, then a tomato crop was established and determined stem diameter, height, leaf area and biomass accumulation in seven dates. During crop development, fruit size and yield were determined. Maximum PAR was higher on the outside, followed by conventional plastic and finally CIQA plastic, The higher temperature readings occurred in the conventional plastic followed by plastic CIQA and abroad. There were differences in the height of two sampling dates in the first sample obtained the highest height plants under CIQA plastic, with 54.33 cm and 47.33 with standard cover. For the fifth sampling, height was 252.66 cm in plants under conventional plastic and 231.66 cm for plants under CIQA plastic. This allows us to conclude that the CIQA plastic film the radiation and the temperature decrease inside the greenhouse, which does not affect agronomic parameters of tomato plants.

Key words: radiation, temperature, *Solanum lycopersicum*

INTRODUCCIÓN

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es común su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. Los nuevos desarrollos de plásticos para invernaderos se han enfocado a la modificación de las propiedades ópticas basados en los efectos que causan los diferentes tipos de radiación en los cultivos (Danserau *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2000). La luz es el factor principal para el crecimiento de la planta pues a diferente calidad y la cantidad de la luz que perciben las especies, se determinan la variabilidad en la estructura y productividad, la radiación es un elemento muy importante para el control climático de invernadero porque afecta de manera significativa la temperatura (Cázares y Figueroa, 2003).

Un cambio en las propiedades físicas y ópticas de las películas plásticas que cubren los invernaderos, pueden modificar la composición espectral lumínica transmitida lo cual modifica el desarrollo de la planta, en algunos casos para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola y en otros casos, puede ocurrir lo contrario (Rajapakse *et al.*, 2000).

Por ser posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, la industria hortícola y la de plásticos han puesto énfasis en el estudio de la radiación (Samaniego *et al.*, 2002), pues 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 pues se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, porque se encuentra relacionada directamente con el proceso fotosintético (Cerny *et al.*, 1999). Enfocándose en el control del microclima, resulta importante disminuir las temperaturas altas y mantener la humedad relativa adecuada para la producción (Medina *et al.*, 2010) ya que los incrementos de la temperatura se consideran un factor limitante en el desarrollo de las hortalizas por lo cual, en

orden de optimizar la cantidad y calidad de la luz para el crecimiento de las plantas, se ha trabajado en el desarrollo de nuevas cubiertas plásticas que contienen diferentes pigmentos fluorescentes o fotoselectivos, que impactan directamente en la productividad de los cultivos (Hemming *et al.*, 2006; Espí *et al.*, 2006).

En base a lo anterior, en el presente trabajo se planteó como objetivo, la evaluación de una película modificada con nano partículas y pigmentos fluorescentes en el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate, pues resulta necesario desarrollar cubiertas plásticas que modifiquen y permitan una mayor difusión de la radiación fotosintéticamente activa que impacte en las respuestas de la planta y por consecuencia estos cambios se vean reflejados en un mejor desarrollo y productividad del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

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, en uno se instaló una cubierta de plástico convencional, y en el otro una cubierta modificada con nano partículas y pigmentos fluorescentes (CIQA). Como material experimental se utilizaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad “El Cid” las cuales fueron sembradas en charolas de 200 cavidades utilizando como sustrato peat moss y perlita (70:30) estas, se trasplantaron cuando tuvieron el tamaño ideal, el trasplante se realizó al suelo en cada invernadero, usando acolchado plástico bicolor y ground cover blanco, se aplicó una fertilización de fondo, e iniciada la floración las necesidades nutrimentales fueron satisfechas por medio de fertirriego. Durante el desarrollo del cultivo se llevaron a cabo podas y tutoreos, así como la aplicación de productos fitosanitarios preventivos. La medición de la radiación fotosintéticamente activa al interior de los invernaderos utilizando un sensor tipo Quantum, modelo Q16533 de la marca LI-COR, la temperatura fue medida con sensores Hobos de la

marca Onset, las lecturas fueron tomadas durante todo el día, los datos recolectados de ambos aparatos fueron almacenados en un data logger modelo LI-1000 de la marca LI-COR para su posterior descarga.

Se realizaron 7 muestreos cada diez días durante el desarrollo del cultivo, después de veinte días de realizado el trasplante se determinó el diámetro basal del tallo, la altura, el área foliar y la acumulación de biomasa en cada fecha, se realizó también la medición del diámetro ecuatorial de frutos y se obtuvo el rendimiento por planta.

Para la obtención de la altura de la planta se utilizó un flexómetro y se midió desde el corte basal al crecimiento apical, mientras que para la determinación de acumulación de biomasa, se tomó la parte aérea de una planta y se colocó en una estufa de secado, por 48 horas a una temperatura de 60 °C, después se obtuvo el peso seco total. El área foliar se obtuvo desprendiendo los folíolos de las hojas y pasándolos por un medidor de área foliar marca LI-COR modelo 3100, el diámetro de tallo se midió en la parte basal del mismo, con un vernier.

Para la evaluación del diámetro ecuatorial del fruto se tomaron en cuenta cuatro muestreos del total de cortes realizados, usando 10 frutos de cada invernadero y para el rendimiento se tomaron en cuenta los frutos de todos los cortes realizados considerando 10 plantas distribuidas al azar en el interior de los invernaderos.

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 y considerando una planta dentro de ellos como una repetición. Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS institute, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSION

Al comparar las lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa al interior de los invernaderos y en el exterior, se puede apreciar diferencia entre ellos (Figura 1) estos valores en la radiación se presentaron generalmente entre la una y dos de la tarde, siendo en el exterior de los invernaderos donde se observaron los valores más altos, seguido por el invernadero con el plástico convencional y con valores más bajos en el invernadero cubierto con el plástico CIQA, también se observó que en los días donde se presentaron las lecturas bajas para esta variable, la diferencia entre la radiación dentro de los invernaderos se redujo, la lectura más alta de radiación en el exterior fue de $1986 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$, mientras que para el invernadero con el plástico convencional fue de $1705 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$ y con la cubierta modifica el valor más alto fue de $1132 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$. Estos valores se presentaron en días diferentes, los valores mínimos en estas lecturas fueron de 234.4 y $163.1 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$, para el invernadero de película convencional y CIQA respectivamente.

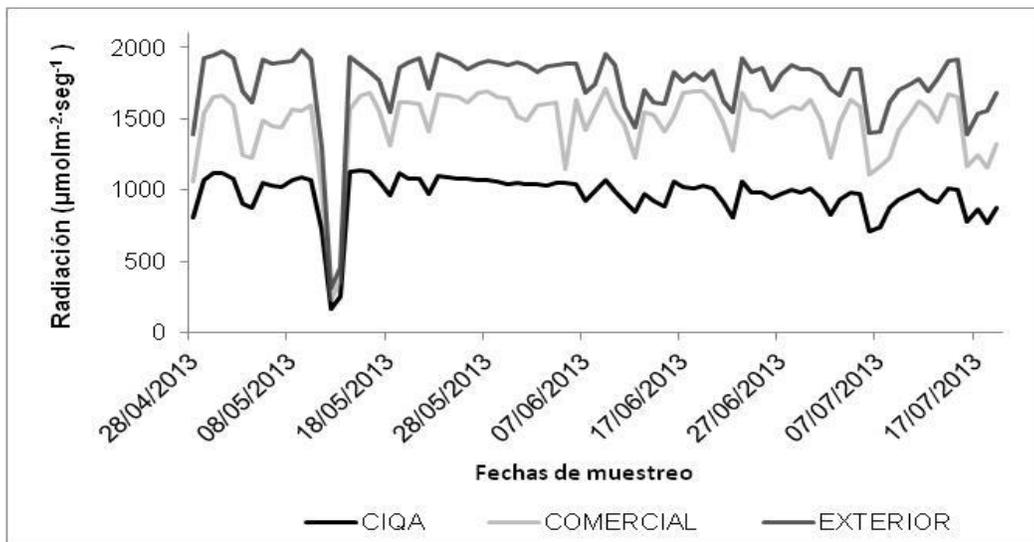


Figura 1. Lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa en el interior y exterior de dos invernaderos con cubiertas diferentes durante el ciclo de cultivo de tomate.

Al comparar las lecturas máximas de la temperatura al interior de los invernaderos se observó diferencia entre ellas (Figura 2), siendo en el invernadero convencional donde se presentaron los valores máximos para esta variable, mientras que el invernadero con la película CIQA y en el exterior, se presentaron valores más bajos, los picos en la temperatura durante el día se presentaron alrededor de las 12 a las 3 de la tarde donde la lectura más elevada de temperatura con plástico convencional fue de 40.8 °C, mientras que para la película CIQA fue de 38.6 °C y en el exterior se presentó un valor de 36.4 °C.

Se encontró también que la temperatura fue influenciada por la radiación transmitida al interior del invernadero, ya que a mayor radiación, la temperatura aumentó. Peil y Gálvez (2004) indican que valores muy altos de luminosidad limitan la producción de tomate en invernadero debido a las altas temperaturas que se alcanzan al interior del invernadero.

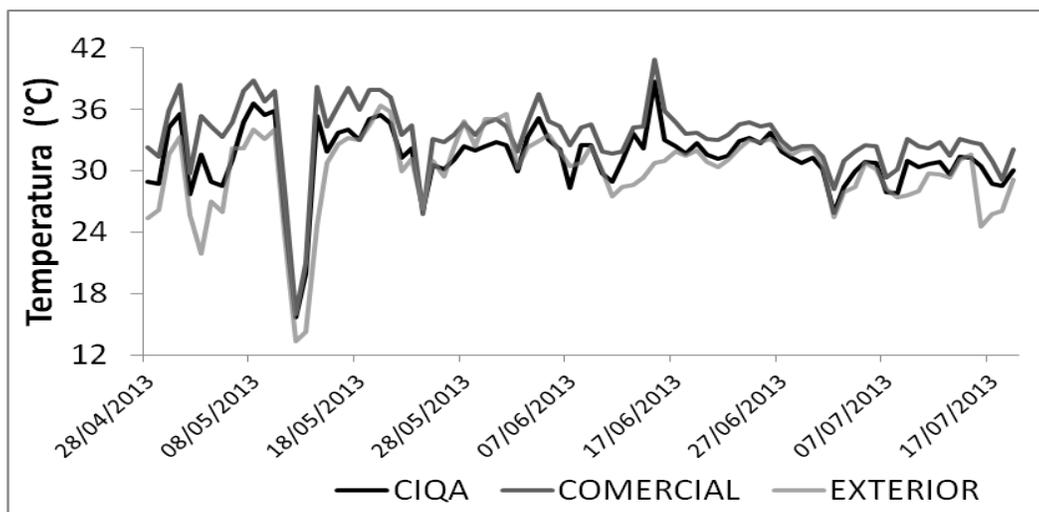


Figura 2. Lecturas máximas de temperatura en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas durante el ciclo de cultivo de tomate.

De acuerdo al análisis de varianza realizado al diámetro de tallo, no se encontraron diferencias significativas entre las plantas crecidas en invernaderos con diferentes películas plásticas (Fig. 1) obteniéndose valores finales de esta variable de 17.87 mm para las plantas desarrolladas en

el invernadero con el plástico convencional y 18.88 mm para aquellas crecidas bajo el plástico CIQA, estos resultados coinciden con los encontrados por Grijalva *et al.*, (2011) en diferentes genotipos de plantas de tomate crecidas en invernadero lo cuales fueron de 17.5 ± 2 mm. En relación con la altura de la planta se encontró diferencia significativa en el primer muestreo, siendo las plantas bajo el invernadero con la película CIQA las que presentaron la mayor altura con un valor de 54.33 cm, mientras que el plástico convencional desarrolló plantas con una altura de 47.33cm, durante los siguientes cuatro muestreos no se presentaron diferencias estadísticas entre la altura de planta en los dos invernaderos, hasta el sexto muestreo donde se observó una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, donde el invernadero con la película convencional presentó las plantas con mayor altura con 252.66 cm, y el invernadero con la película CIQA indujo en las plantas una altura de 231.66 cm. Alturas similares son reportadas por Ortega *et al.*, (2010) quienes encontraron plantas de 250 cm de altura en plantas de tomate a los 75 DDT cultivadas en invernadero. Los resultados del último muestreo realizado no mostraron diferencias entre los tratamientos y las alturas finales fueron de 286 cm en las plantas del invernadero con el plástico convencional y 279.6 cm para las plantas del invernadero con el plástico CIQA. En este trabajo la película modificada redujo la cantidad de luz transmitida cerca de un 50%, en comparación con el exterior, los resultados encontrados durante el primer muestreo coinciden por lo reportado por Conover y Flohr (2003) quienes encontraron que la altura de planta de tomate 'Pixie Hibryd II' fue estadísticamente mayor en el máximo nivel de sombra (50%), aunque no coincide con los siguientes muestreos, incluso para el sexto muestreo donde las plantas del invernadero convencional muestran la mayor altura en comparación con las plantas desarrolladas bajo el plástico CIQA.

La variable área foliar para el cultivo de tomate, tampoco mostró diferencias durante las fechas de muestreo, sin embargo, se apreció un incremento del área foliar a través del tiempo, Segura *et al.*, (2011) reportan que el área foliar de plantas de tomate crecidas en invernadero a los 60 DDT fue de 1456.89 cm² estos valores se encuentran por debajo de los observados en

este estudio, pues los valores que corresponde a esa fecha (sexto muestreo) fueron de 1862cm² para las plantas del invernadero con el plástico convencional y 20871cm² para las plantas crecidas bajo la cubierta plástica CIQA. Los resultados de esta variable para el último muestreo fueron de 27358 cm² y 32817 cm² respectivamente. Se ha reportado que el incremento de la radiación incidente en el cultivo de estevia, genera incrementos en el área foliar, sin embargo este efecto no se encontró en el cultivo de tomate ya que no se encontraron diferencias entre las plantas crecidas en diferentes ambientes lumínicos (Jarma *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al diámetro de tallo, altura, área foliar y acumulación de biomasa de plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.

Tratamiento	Variable	Muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Convencional	Diámetro de tallo (mm)	8.42 ^{Aa}	9.47 ^A	13.58 ^A	14.72 ^A	16.75 ^A	18.05 ^A	17.87 ^A
		8.00 ^A	9.96 ^A	14.58 ^A	15.10 ^A	15.58 ^A	16.56 ^A	18.88 ^A
		10.34	13.16	18.09	19.95	17.25	9.28	14
		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Convencional	Altura (cm)	47.3 ^B	72.6 ^A	127.3 ^A	165.6 ^A	196.0 ^A	252.6 ^A	286.0 ^A
		54.3 ^A	80.5 ^A	120.3 ^A	155.3 ^A	207.6 ^A	231.6 ^A	279.6 ^A
		6.00	4.80	3.05	3.51	5.74	2.25	3.23
		*	NS	NS	NS	NS	**	NS
Convencional	Área foliar (cm ²)	1597.5 ^A	3716.4 ^A	10082.7 ^A	13766 ^A	18627 ^A	20520 ^A	27358 ^A
		1653.9 ^A	3651.1 ^A	10096.2 ^A	14569 ^A	20871 ^A	20441 ^A	32817 ^A
		28.69	13.12	7.44	14.02	9.1	11.35	12.05
		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Convencional	Acumulación de biomasa (gr)	15.48 ^A	39.70 ^A	123.17 ^A	210.55 ^A	279.99 ^A	316.02 ^A	508.93 ^A
		14.94 ^A	40.57 ^A	110.24 ^A	193.73 ^A	320.73 ^A	327.87 ^A	614.35 ^A
		26.63	9.8	7.4	19.27	7.11	3.74	11.28
		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

CIQA= Plástico modificado; Convencional= Plástico control.

^a= 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.

Para la variable de acumulación de biomasa en plantas de tomate crecidas en invernadero con dos diferentes películas plásticas, no se encontraron diferencias entre tratamientos, Alcántar *et al.*, (2003) encontraron un total de 482 g de biomasa en plantas de tomate a 75 DDT, estos valores coinciden con los encontrados en el experimento ya que durante el sexto muestreo, los valores de biomasa se encontraron en 316.02 g para las plantas crecidas bajo la cubierta convencional y 327.87 g para las plantas crecidas bajo la cubierta CIQA, y para el séptimo muestreo los resultados fueron de 508.93 g y 614.35 g respectivamente. Shaheen *et al.*, (1995) indican que conforme la radiación disminuye, también lo hace el peso seco, lo cual no se vio reflejado en este experimento, pues no se encontraron diferencias para la acumulación de biomasa entre las plantas de tomate cultivadas bajo las diferentes cubiertas plásticas, lo cual indica que aunque hubo valores diferentes de radiación, estos estuvieron dentro de los límites de radiación necesarios para el buen funcionamiento de las plantas de tomate crecidas en el invernadero con la película CIQA. Choe *et al.*, (1988) señalan que el peso seco y el área foliar son mayores a 28 °C que a 23 °C, para este caso con valores generales de temperatura por encima de los 28 °C, no se encontraron diferencias para esta variable.

En la evaluación del tamaño de los frutos se encontró que el 37.5% de los frutos del invernadero convencional fueron clasificados como grandes, 52.5% como medianos y 10% como pequeños, mientras que los frutos desarrollados bajo el plástico CIQA, un 20% fueron grandes, 80% medianos, y no se presentaron frutos para la categoría chica, el tamaño del fruto de tomate está regulado por la importación de asimilados y agua y se encuentra determinado tanto por el número de células y el tamaño, así como de la elongación celular durante el período de crecimiento rápido (Ho, 1996)

No se encontraron diferencias en el rendimiento por planta con el uso de diferentes plásticos, siendo de 30.4 y 33.8 kg·m⁻² para las plantas del invernadero con el plástico convencional y para plantas de CIQA respectivamente, estos valores se encuentran por arriba de los 26.2 y 19.2 kg·m⁻² que se encontraron al evaluar diferentes variedades de tomate en invernadero, en un periodo de cosecha más corto (Grijalva *et al.*, 2004). De acuerdo con Khah *et al.*, (2006) a temperaturas de 27.8 y 33.1 °C se encontraron los mayores rendimientos para todos los tratamientos utilizados obteniendo un rendimiento total de 5106.3 g por planta, pues se considera que durante estos periodos, se tuvieron condiciones favorables para el crecimiento para este caso de estudio las temperaturas máximas se situaron entre los 26 o 27° C a 37 °C, y los rendimientos para los invernaderos fueron de 8020.2 y 8906.8g por planta en un periodo más corto.

Cuadro 2. Clasificación del tamaño de frutos de tomate crecidos en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas de acuerdo a la norma NMX-FF-031-1997-SCFI.

	Categoría	Muestreo				Total de frutos
		1	2	3	4	
Convencional	Grande	-	6	8	1	15
	Mediano	6	4	2	9	21
	Chico	4	-	-	-	4
CIQA	Grande	-	2	4	2	8
	Mediano	10	8	6	8	32
	Chico	-	-	-	-	-

- No se presentaron frutos para esta categoría

CONCLUSIÓN

La película plástica CIQA, disminuyó la radiación y la temperatura al interior del invernadero, lo que no afectó la acumulación de biomasa, altura y área foliar de plantas de tomate.

LITERATURA CITADA

Alcántar, G. G.; Suárez, E. A.; Enriquez, R. S. A.; Castellanos, R. J. Z.; González, E. D. y

Lazcano, F. I. 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (numac): nutrición con N para tomate en invernadero 3. Evaluación del Modelo. Terra Latinoamericana, 21(2): 185-193.

Cázares, C. L., y Figueroa, M. C. 2003. Producción de Grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. Agrociencia. 37(2):149-155.

Cerny, A. T. N.; Rajapakse, C.; and Ryu, Y. O. 1999. Recent development in photosensitive greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plastics. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.

Choe, J. S.; Lee, S. W.; Nagaoka, G. M.; Dakahashi., S. Joo C., and S. Woo L. 1988. The effect of temperature and light intensity during the nursery stage on *Capsicum annuum* seedling quality. Research Reports of the Rural Development Administration Horticulture. 30 (3): 1-15.

Conover, C. and Flohr, R. 2003. Light, fertilizer and cultivar selection affect growth and yield of containerized patio tomatoes. Research Report RH-96-1. Commercial Foliage Research Reports (CFRR). University of Florida Research and Education Center, Apopka, 81.

- Dansereau, B.; Zhang, Y; Gagnon, S.; and Xu, L. H.; 1998. Stock and snapdragon as influenced by greenhouse covering materials and supplemental light. *HortSci.* 33(4):668-671.
- Espi, E.; Salmeron, A.; Fontecha, A.; García, Y.; and Real, A. I. 2006. Plastic Films for Agricultural Applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting.* 22(2):85-102.
- Grijalva C. R. L.; Macías, D. R. y Robles C. F. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 14(2):675-682.
- Grijalva C. R. L.; Macías, D. R.; Valenzuela, R. de J. and Robles, C. F. 2004. Productivity and fruit quality in tomatoes varieties under greenhouse conditions in the northwest of Mexico. *HortScience.* 39(4):804-804.
- Hemming, S.; Van Os, E. A.; Hemming, J. and Dieleman, J. A. 2006. The effect of new development fluorescent greenhouse films on the growth of *Fragaria x ananassa* “Elsanta”. *Europ J. Hort. Sci.* 71(4):145-154.
- Ho, L. C. 1996. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *Journal of Experimental Botany,* 47(Special Issue):1239-1243.
- Jarma, A.; Rengifo, T.; y Araméndiz, T.H. 2005. Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana.* 23(2):207-216.
- Khah, E. M.; Kakava, E.; Mavromatis, A.; Chachalis, D.; and Goulas, C. 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Appl. Hortic.* 8(1):3-7.

- Lee, D. W.; Oberbauer, S. F.; Johnson, P.; Krishnapilay, B.; Mansor, M.; Mohamad, H. and Yap, S. K. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. *Amer. J. Bot.* 87(4):447-455.
- Li, S.; Rajapakse, N. C.; Young, R. E.; and Oi, R. 2000: Growth responses of *chrysanthemum* and bell pepper transplants to photosensitive plastic films. *Sci. Hort.* 84:215-225.
- Medina, L. Y. B.; Arellano, R. E. J. y Briceño, W. E. E. 2010. Influencia de la condición climática de diferentes localidades en el microclima del invernadero: región andina y central de Venezuela. *Interciencia.* 35(5):380-387.
- Norma Oficial Mexicana sobre productos alimenticios no industrializados para Consumo humano - hortalizas frescas - tomate - (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) – especificaciones. 1997. (NMX-FF-031-1997-SCFI). Diario Oficial de la Federación.
- Ortega L. D.; Sánchez, J.; Ocampo, J.; Sandoval, E.; Salcido, B. A. y Manzo, F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai.* 6(3): 339-346.
- Peil, R. M. y Gálvez, J. L. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira, Brasília.* 22(2):265-270.
- Samaniego, C. E.; Quezada, M. M. R.; De La Rosa I. M.; Munguía, L. J.; Benavides, M. A.; e Ibarra, J. L. 2002. Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. *Agrociencia.* 36:305-318.
- SAS Institute. 2001. PROC user's manual, versión sexta edición. SAS institute, Cary, NC, USA.

Shaheen, A. M.; Omar, N. M.; Mahmoud, A., and Helal, R. M. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. *Egyptian Journal of Horticulture*. 22 (2):175-192.

Segura, C. M. Á.; Ramírez, S. A. R.; García, L. G.; Preciado, R. P.; García, H. J. L.; Yescas, C. P. y Montemayor, T. J. A. 2011. Desarrollo de plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 17(SPE1): 25-31.

VII. ARTICULO

**EFFECTO DE UNA PELICULA PLASTICA MODIFICADA
EN ALGUNOS ASPECTOS BIOQUIMICOS
DE UN CULTIVO DE TOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.)**

**EFFECTO DE UNA PELICULA PLASTICA MODIFICADA EN ALGUNOS ASPECTOS
BIOQUIMICOS DE UN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

**EFFECT OF A MODIFIED PLASTIC FILM IN CERTAIN BIOCHEMICAL ASPECTS OF A
TOMATO CROP (*Solanum lycopersicum* L.)**

Ema Laura García-Enciso¹, Manuel De La Rosa-Ibarra¹, Rosalinda Mendoza-Villarreal², Maria del Rosario Quezada-Martin³
(ELGE) Laboratorio de Fisiología Vegetal
¹Departamento de Botánica, ²Departamento de Horticultura
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Buenavista, Saltillo, Coahuila 25315
²Departamento de Agroplásticos,
Centro de Investigación en Química Aplicada
Saltillo, Coahuila, 25253
emita_ma13@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto de una cubierta para invernadero modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes (CIQA) en algunas variables bioquímicas y en la calidad en frutos de tomate. El trabajo se realizó en el Centro de investigación en Química Aplicada, ubicado en Saltillo Coahuila, para lo cual 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 y se determinó el contenido de clorofilas y carotenoides en las plantas y en los frutos se evaluó el contenido de Vitamina C y licopenos. 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 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:

In this study was determined the effect of a greenhouse cover modified nanoparticles and fluorescent pigments (CIQA) on some biochemical variables and quality of tomato fruits . The study was conducted at the Research Centre of Applied Chemistry, located in Saltillo Coahuila , for which two greenhouses were installed in one conventional cover was used and in the other the modified film , photosynthetic active radiation (PAR) was measured and temperature inside and outside the greenhouses. A tomato crop was established in greenhouses and content of chlorophylls and carotenoids was determined in plants and fruit content of vitamin C and lycopene was evaluated. Maximum PAR readings were higher on the outside, then the conventional greenhouse and finally in the greenhouse CIQA. As for temperature , the highest readings were made in the conventional plastic greenhouse , followed by the greenhouse CIQA and abroad. Differences were found in some samples for carotenoids , vitamin C and lycopene. This allows to conclude that the plastic film CIQA decreases radiation and temperature inside the greenhouse without affecting standards of fruit quality and 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 & Holder 1989; Papadopoulus & Hao 1997) generando un microclima particular con efectos significativos sobre el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo (Papadopoulus & Hao 1997; Dorais *et al.* 2002).

La radiación es un factor muy 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, pues 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, pues 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 & Heuvelink 2005), 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 que contienen diferentes pigmentos fluorescentes que son efectivos para reducir la elongación y lograr una producción más compacta de pepino (*Cucumis sativus* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y plantas de tomate *Solanum lycopersicum* L. (Li *et al.* 2003), también se ha reportado que con el uso de cubiertas foselectivas se aumentó la cantidad y calidad de determinados cultivares de rosas (Mascarini *et al.* 2013) mientras que en tomate al usar películas foselectivas se encontró un aumento en los sólidos solubles, (Márquez *et al.* 2010) y 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 METODOS

Área de estudio. El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación de 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, y al segundo una cubierta modificada con nanopartículas y pigmentos fluorescentes (CIQA).

Como material experimental se utilizaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad "El Cid" las cuales fueron sembradas en charolas de 200 cavidades utilizando como

sustrato peat moss y perlita (70:30) estas, se trasplantaron a suelo cuando tuvieron el tamaño ideal, el trasplante se realizó al suelo en cada invernadero, usando acolchado plástico bicolor y ground cover blanco, se aplicó una fertilización de fondo, e iniciada la floración las necesidades nutrimentales fueron satisfechas por medio de fertirriego.

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 para su posterior descarga.

Desarrollo de cultivo. Durante el desarrollo del cultivo se llevaron a cabo podas y tutores, así como la aplicación de productos fitosanitarios preventivos. Se realizaron 7 muestreos cada diez días durante el desarrollo del cultivo, después de realizado el trasplante, para determinar el contenido de clorofila y carotenoides, durante la etapa de fructificación se llevaron a cabo tres muestreos cada siete días para determinar en el fruto, los grados Brix, firmeza, pH, contenido de Vitamina C y licopeno, se realizó un total de 16 cortes durante el ciclo del cultivo con el cual se determinaron los componentes de rendimiento.

Medición de variables. El contenido de clorofila y carotenoides se realizó por espectrofotometría, usando acetona al 90% como solvente se pesaron 0.5 g de hojas frescas y se trituraron en un mortero (frío) se añadió 50 ml de acetona, se filtró y se tomó una alícuota que se colocó en una celda para espectrofotómetro, se leyó a 648 y 663 nm. 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 se leyó a 480 y 750 y se usó la siguiente fórmula:

$$\text{carotenoides (mg/L)} = (A_{480} - A_{750}) * \text{vol. extracto en ml} / ((100 * E_{1\text{cm}} 1\%) * (\text{vol. filtrado en litros}))$$

Se hizo un macerado de los frutos y se utilizó para determinar los grados Brix con ayuda refractómetro modelo Pal1 de la marca Pocket, en el mismo macerado se midió el pH con un potenciómetro portátil de la marca Hanna, la firmeza se realizó utilizando un penetrómetro, la determinación del contenido de vitamina C, se pesó 10 gr de muestra fresca se trituro y deposito en un mortero, se añadieron 10ml de ácido clorhídrico al 2% se maceró, se filtró y se aforo a 100 ml se tomaron 10 ml y se depositaron en un matraz, se tituló con solución de 2,6 diclorofenolindofenol, hasta que aparezca el primer tono rosa que persista 30 segundos (AOC, 1980). Los datos obtenidos de las titulaciones de las muestras y el blanco se sustituyeron en la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C (mg / 100 g)} = \frac{(V_m - V_b) (M) (FC) (100)}{W / v(a)}$$

Donde:

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

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 ($\mu\text{g/mL}$) = $A502 / 0.32$

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 utilizando el paquete estadístico SAS (SAS institute, 2001).

RESULTADOS

Se observaron diferencias entre la cantidad de radiación PAR incidente y la transmitida por los diferentes plásticos al interior de los invernaderos, los valores más altos para esta variable se presentaron en el exterior, y la lectura máxima registrada fue de $1986 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$, mientras que el plástico convencional tuvo como valor máximo $1705 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$ y la cubierta modifica $1132 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$ dichas lecturas, se presentaron en días diferentes, los valores más bajos registrados fueron de 234.4 y $163.1 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$, para el invernadero de película convencional y CIQA respectivamente, estas máximas 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 el plástico modificado y de 40.8 °C el invernadero con el plástico convencional, mientras que en el exterior las temperaturas fueron más bajas que al interior de los invernaderos, estos valores se

presentaron alrededor de las 12 a las 3 de la tarde, en general la diferencia de temperatura 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. La mayor diferencia en el promedio de radiación transmitida por los plásticos se presentó para el primer muestreo, seguido por el tercero y finalmente durante el segundo muestreo la diferencia fue menor, mientras que la diferencia entre la temperatura promedio dentro de los invernaderos fue menor para el primer muestreo, presentándose la mayor diferencia durante el tercer muestreo realizado.

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 1), 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 para las plantas crecidas bajo el plástico convencional y entre 11.46 y 38.06 mg/g 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 y 7.30 a 25.06 mg/g y de clorofila b, las concentraciones fueron de 6.68 a 17.73 mg/g y de 4.16 a 13.01 mg/g, para las plantas bajo la cubierta convencional y la cubierta modificada respectivamente.

Para el contenido de carotenoides, durante el primer muestreo se encontró una diferencia significativa, obteniéndose un valor de 3.42 mg/g para el invernadero con la cubierta convencional y 2.58 mg/g para la cubierta modificada, 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 para las plantas del invernadero convencional y de 6.22 mg/g 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 grados Brix (Tabla 2), los valores para esta variable se encontraron entre 4.90 y 5.43 % para el invernadero convencional y para la cubierta 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 y los rangos oscilaron entre 3.0 y 4.20 y 3.46 y 4.83 kg·cm² 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 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 y aquellos crecidos bajo el plástico modificado lograron 8.21 mg/100 g. 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 para las plantas crecidas bajo la cubierta vegetal y entre 7.92 y 8.50 mg/100 g 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 desarrollados bajo el plástico modificado, registrando una concentración de 24.99 mg/100 g, mientras que los frutos desarrollados bajo la cubierta convencional, presentaron concentraciones de 24.35 mg/100 g, para 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 concentraciones de 29.42 mg/100 g para la cubierta convencional y de 8.93 mg/100 g para la película modificada.

Para la variable componente de rendimiento no se encontraron diferencias en ninguno de los parámetros evaluados (Tabla 3), sin embargo se puede apreciar que las plantas desarrolladas bajo el plástico modificado produjeron el mayor número de frutos y también desarrolló los frutos de mayor peso, lo que ocasionó a que el rendimiento fuera más alto que en las plantas crecidas bajo la cubierta convencional.

DISCUSIÓN

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), por ello al modificar las propiedades ópticas de la película se apreciaron diferencias en la radiación y la temperatura entre el exterior y el interior de los invernaderos, se ha reportado que un exceso de radiación tiene un gran peso en la fisiología de la planta, pues valores muy altos de luminosidad pueden causar una reducción de la fotosíntesis y limitar la producción de tomate debido a las altas temperaturas (Peil & Galvéz 2004), por lo cual, una disminución de la radiación al interior del invernadero con la película modificada no fue un factor limitante para el desarrollo de los frutos.

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de los diferentes tipos de clorofilas en las plantas crecidas en ambientes diferentes. Carter & Spiering (2002) mencionan que las diferencias en el contenido de clorofilas en las hojas puede ser un índice del vigor de la planta y de su capacidad fotosintética, la cual depende en gran medida de contenido de pigmentos. Son de gran importancia las moléculas de clorofila "a" en ambos sistemas de pigmentos para la

captura de energía luminosa (Govindjee 1994), mientras que la clorofila b actúa como antena, conduciendo la energía que absorbe hacia el centro de reacción (De Las Rivas 2000b.) La diferencia que se encontró durante el primer muestreo en el contenido de carotenoides podría deberse a que estos pigmentos son de gran importancia ya que cumplen dos funciones esenciales, pues son los pigmentos accesorios del fotosistema II en el proceso de fotosíntesis y proporcionan fotoprotección para limitar los efectos de la iluminación alta (Johnson *et al.* 1993, Southon & Faulks 2001) debido a su propiedad para desactivar la clorofila triplete y el oxígeno singlete y evitar el daño del aparato fotosintético inducido por la luz, debido a la formación de especies reactivas de oxígeno (Jahns & Holzwarth 2012)

Los resultados encontrados en el contenido de grados Brix, pH y firmeza no se presentaron diferencias, estos resultados encontrados concuerdan con los reportados por diferentes autores, quienes indican contenidos de grados Brix entre 4.1 y 5.4, en ocho líneas de tomate producido en invernadero (Peralta *et al.* 2012). Ho (1996), menciona que la calidad se determina por el transporte y metabolismo de los azúcares dentro de la fruta, de esta manera, la firmeza de los frutos en este estudio fue mayor a la encontrada por Robledo *et al.* (2005) en frutos de tomate tipo saladete, los cuales tenían una firmeza de 2.55 kg/cm², los resultados de pH encontrados son aproximados a los reportados en frutos de tomate crecidos en invernadero, que van de 4.0 a 4.4 (Juárez *et al.* 2009)

El contenido de vitamina C depende de factores como la temperatura y la irradiancia (Toor *et al.* 2006), 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, 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/100g (Slimestad, & Verheul 2005). Los carotenoides constituyen uno de los pigmentos más importantes en las frutas, en los tomates se acumulan altas concentraciones del carotenoide licopeno (30 a 100 $\mu\text{g/g}$), impartiendoles su distintivo color rojo (Lewinsohn *et al.* 2005), las concentraciones de licopeno obtenidos en esta investigación, en las etapas de maduración y comercialización, se encuentran dentro del rango reportado por Levy & Sharoni (2004): que es de 3.1 a 7.7 mg/100 g, además se señala que el contenido de este carotenoide en las frutas depende del área de crecimiento, de la estación y de la variedad (Pól *et al.* 2004,). 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). El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha (Casierra, et al., 2007), asimismo, el crecimiento potencial de un órgano demanda podría ser determinado durante el periodo de división celular, en la fase inicial de desarrollo de este órgano (Patrick, 1988). El número de frutos producidos por planta se encuentra por encima de los reportados por Santiago et al (1994) 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/planta, esto en un total de cortes que van de 11 a 15 en total.

El rendimiento de 296.3 y 307.6 Ton/ha 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 Ton/ha. Se puede considerar una producción comercial exitosa de tomate en invernadero con un rendimiento de 200 Ton/ha por año como

mínimo (Cotter y Gomez 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.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que la radiación transmitida por la cubierta afecta directamente la temperatura al interior del invernadero, y la disminución de la radiación PAR por la película CIQA no afectó el crecimiento, desarrollo y la calidad del cultivo de tomate, crecidos bajo esta cubierta.

LITERATURA CITADA

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1980). Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Benjamin Franklin Station , Washington DC. USA. 1018 p.

Carter AG, Spiering, BA. (2002). Optical properties of intact leaves forestimating chlorophyll concentration. J. Environ. Qual 31:1424-1432.

Casierra-Posada F, Cardozo MC, Cárdenas-Hernández JF. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. Agronomía Colombiana 25(2): 299-305.

Cerny ATN, Rajapakse C, Ryu YO. (1999). Recent development in photoselective greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.

Cotter DJ, Gómez RE. (1981). Cooperative extensions service. 400H11. U. New Mexico, USA. 4p.

Patrick, J.W. 1988. Assimilate partitioning in relation to crop productivity. HortScience 23, 33-40.

De Las Rivas J (2000b). 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 y supplemental lighting affect growth, yield, photosynthesis, y leaf carbohydrate synthesis of tomato plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (5): 819-824.

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.

Ho LC. (1996). The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *Journal of Experimental Botany* 47(Special Issue):1239-1243.

Jahns P, Holzwarth AR (2012). The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem 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. 79 pp.

Johnson GN, Scholes JD, Horton P, Young AJ. (1993). Relationships between carotenoid composition and growth habit in British plant species. *Plant Cell Environ* 16:681-686.

Juárez-López P, Castro-Brindis R, Colinas-León T, Ramírez-Vallejo P, Sandoval-Villa M, Reed D W, King S. (2009). Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Rev. Chapingo S. Hort.* 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.

Lewinsohn E, Sitrit Y, Bar E, Azulay Y, Ibdah M, Meir A, Yosef E, Zamir D, Tadmor Y. (2005). Not just colors-carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit. *Food Science & Technology* 16: 407-415.

Li S, Rajapakse NC, Young RE. (2003). Far-red light absorbing photoselective plastic films affect growth and flowering of chrysanthemum cultivars. *Hort. Sci.* 38(2): 284-287.

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) sin páginas.

Marqués QC, Robledo TV, Benavides MA, Vázquez BM. (2010). Respuesta en la calidad de tomate cherry, al uso de macrotúneles con película fotoselectiva. En: Maximiano Antonio Estrada-Botello, Rodolfo Osorio-Osorio, Nancy Patricia Brito-Manzano y Rufo Sánchez-Hernández (eds) *Tópicos Selectos en Agronomía Tropical*. Villahermosa, Tabasco México. 251 p.

Noble R, Holder, 1989. Pot plant production under various greenhouse cladding materials. *J. of Hort. Sci.* 64: 485-493.

- Peralta P, Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia JL, Vera-Guzmán AM, Pérez-León I. (2012). Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Phyton* 81(1): 15-22.
- Papadopoulos AP, Hao X. (1997). Effects of the greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity y energy use. *Scientia Hort.* 68: 113-123.
- Robledo-Torres V, Benavides-Mendoza A, Ramírez H, Hernández-Davila J, Sánchez-López A, Peralta-Manjarrez RM. (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.
- Van der Ploeg A, Heuvelink E. (2005). Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield. *J Hortic Sci Biotech* 80: 652-659.
- Santiago J, Mendoza M, Borrego F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9: 59-65.
- SAS Institute. (2001). PROC user's manual. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- 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 pp. 119-137.
- 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.

Toor RK, Savage GP, Lister CE. (2006). Seasonal variation in the antioxidant composition of greenhouse grow tomatoes. J. Food Comp. Analysis 19(1):1-10.

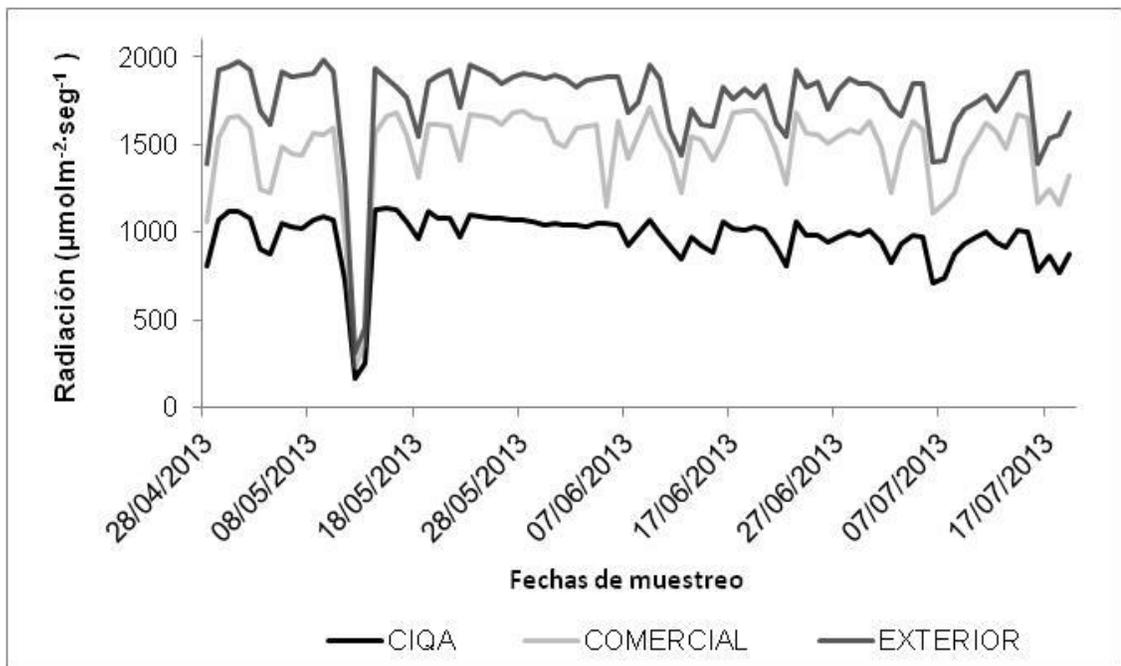


Figura 1. Lecturas máximas de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas durante el ciclo de cultivo de tomate.

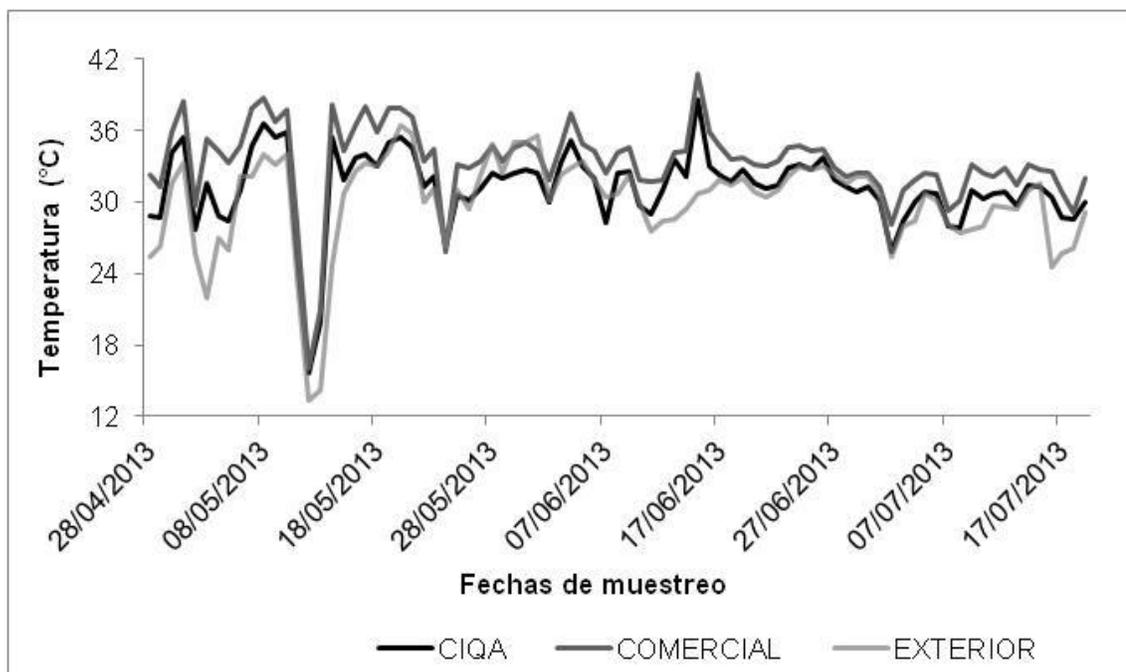


Figura 2. Lecturas máximas de temperatura en el interior y exterior de dos invernaderos con diferentes cubiertas durante el ciclo de cultivo de tomate.

Tabla 1. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas al contenido de clorofilas y carotenoides en plantas crecidas en invernadero bajo diferentes cubiertas plásticas.

Tratamiento	Variable	Muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
Convencional	Clorofila total (mg/g)	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 ^A	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)	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)	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 ^A	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. ^a= Letra igual en cada media dentro de muestreo es igual (Tukey P≤0.05). CV= Coeficiente de variación, *=Diferencia Significativa, NS= Diferencia no Significativa.

Tabla 2. Análisis de varianza y comparación de medias realizadas para el contenido de grados brix, firmeza, pH, Vitamina C y Licopeno en frutos desarrollados en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas

Tratamiento	Variable	Muestreo		
		1	2	3
Convencional	Sólidos solubles totales (%)	5.43 ^{AB}	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)	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)	24.35 ^B	12.21 ^A	29.42 ^A
CIQA		24.99 ^A	10.49 ^A	8.93 ^A
CV (%)		0.67	28.82	7.33
		**	NS	**

CIQA= Plástico modificado; Convencional= Plástico control. ^a= Letra igual en cada media dentro de muestreo es igual (Tukey P≤0.05). CV= Coeficiente de variación, **=Diferencia Altamente Significativa, *=Diferencia Significativa, NS=Diferencia no Significativa.

Tabla 3. Componentes de rendimiento de un cultivo de tomate crecido bajo diferentes cubiertas plásticas.

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 (Kg/planta)	307.62
CV		15.84
		NS

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

VIII. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que la película plástica CIQA, disminuyó la radiación y la temperatura al interior del invernadero, la radiación transmitida por la cubierta afecta directamente la temperatura al interior del invernadero, y la disminución de la radiación PAR por la película CIQA no afectó el crecimiento, desarrollo y la calidad del cultivo de tomate, crecidos bajo esta cubierta.

I. LITERATURA CITADA

- Alvarenga, M. A. R. Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA, 2004. 400 Pp.
- Batu, A. 2003. Determination of acceptable firmness and colour values tomatoes. J. Food Eng. 61: 471-475.
- Bonafont, A. 2005. Utilización eficaz de las posibilidades de los plásticos agrícolas. Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: Frutas, Hortalizas, Flores, Plantas, Arboles ornamentales y Viveros. 187: 38-44.
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J., & Von Eslnar, B. 1997. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: Part 1, general overview. Journal of Agricultural Engineering Research. 67(2), 81-96.
- Cázares, C. L., y Figueroa, M. C. 2003. Producción de Grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. Agrociencia. 37(2):149-155.
- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. In: International Symposium on Solanacea for Fresh Market. Malaga, Spain 412 pp.
- Cemek, B., Demir, Y., Uzun, S., Ceyhan, V. 2006. The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. Energy. 31(12), 1780-1788.
- Chamovitz, D. A., Deng, X. W., Lam, E. 1996. Light signaling in plants. Critical reviews in plant sciences, 15(5-6): 455-478.
- Cols, J. 2003. Diseño de un cobertizo, umbráculo y un laboratorio para el núcleo Héctor Ochoa Zuleta. Tesis de licenciatura. Departamento de Agronomía Universidad Occidental Lisandro Alvarado. Cabudare, Venezuela.
- Espí, E. 2012. Materiales de cubierta para invernaderos. Cuadernos de estudios agroalimentarios. 71:88.

- Fleisher, D. H., Logendra, L. S., Moraru, C., Both, A., Cavazzoni, J., Gianfagna, T., y Janes, H. W. 2006. Effect of temperature perturbations on tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) quality and production scheduling. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81(1), 125-131.
- Garcia-Alonso, Y., Espi, E., Salmeron, A., Fontecha, A., Gonzalez, A., y Lopez, J. 2006. New cool plastic films for greenhouse covering in tropical and subtropical areas. In *International Symposium on Greenhouse Cooling*. Almeria, Spain. 131-138 pp.
- Gómez, O.; Casanova, A.; Laterrot, H.; Anais, G. 2000. Mejora genética y manejo del cultivo de tomate para la producción en el Caribe. La Habana: Instituto de Investigaciones Horticolas "Liliana Dimitrova". 159p.
- Grolier, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83(5), 369-382.
- Guichard, S; Bertin, N; Leonardi, C; GARY, Christian. 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*. 21: 385-392.
- Herrera, A. L. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, 17(3): 222-229.
- Heuvelink, E., y Gonzalez-Real, M. M. 2007. Innovation in plant-greenhouse interactions and crop management. In: *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys*. Beijing, China 63-74pp.
- Hobson, G.E., Grierson, D. 1993. Tomato. In: *Biochemistry of Fruit Ripening*. Seymour, G.B., Taylor, J.E. and Tucker, G., (eds.). Chapman and Hall, London, pp. 405-442.
- Jahns, P., Holzwarth, A. R. 2012. The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. 1817(1): 182-193.
- Kristoffersen, T. 1963. Interactions of photoperiod and temperature in growth and development of young tomato plants, *Physiologia Pl. Suppl.* 1: 1-98.
- Kinet, J. M. 1977. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*. 6(1): 15-26.
- Kubota, C. Thomson, C. A. Wu, M. and Javanmardi. 2006. Controlled environments for production of value added food crops with high

- photochemical concentrations: Lycopene in tomatoe as an example. *Hortscient.* 41(3): 522: 525.
- Li, S. Rajapakse, N. C. Young, R. E. Oi, R. 2000. Growth responses of *Chrysanthemum* and bell pepper transplants to photoselective plastic films. *Sci. Hort.* 84:215-225.
- Liakatas, A. Clark, J. A. Monteith, J. L. 1986. Measurements of the heat balance under plastic mulches. Part I. Radiation balance and soil heat flux. *Agr. For. Meteorol.* 36:227-23.
- Larsen, S. F. Hernández, A. Lesino, G. 2003. Transmitancia de materiales fotoselectivos para cubiertas de invernaderos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* 7(2): 49-52.
- Marcelis, L.F.M. 1993a. Effect of assimilate supply on the growth of individual cucumber fruits. *Physiology Plantarum.* 87:313-320.
- Heijde, M. y Ulm, R. 2012. UV-B photoreceptor-mediated signalling in plants. *Trends in Plant Science.* 17(4):231.
- Matallana. G.A. y Montero C., 1995. Invernaderos: Diseño, construcción y climatización. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 207pp.
- Moretti, C.L. Sargent, S.A. Huber, D.J. Calbo, A.G. Puschmann, R. 1998. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 656-660.
- Mortensen, L. M., & Strømme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia horticultrae.* 33(1): 27-36.
- Noble, R., y Holder, R. 1989. Pot plant production under various greenhouse cladding materials [glass; glass and polyester (Melinex) lining; double polyester (Variglaze); and twin-walled acrylic coated (double) polycarbonate (10 mm thick)]. *Journal of Horticultural Science*, 64.
- Papadopoulos, A. P., & Pararajasingham, S. (1997). The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. *Scientia Horticultrae*, 69(1), 1-29.
- Peet, M. M. (1997, May). Greenhouse crop stress management. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 481* (pp. 643-654).
- Peil, R. M. Gálvez, J. L. 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. *Journal of Chromatography*. 1052: 25-31.
- Polowick, P. L. Sawhney, V. K. 1985. Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annuum* L. *Scientia horticulturae*. 25(2): 117-127.
- Polowick, P. L., y Sawhney, V. K. 1988. High temperature induced male and female sterility in canola (*Brassica napus* L.). *Annals of Botany*. 62(1): 83-86.
- Rabinowitch, H. D. David, B. Friedman, M. 1986. Light is essential for Sunscald induction in cucumber and pepper fruits, whereas heat provides protection. *Scientia Horticulture*. 29:21-29.
- Sigrimis, N. Rerras, N. 1996. A linear model for greenhouse control. *Transactions of the ASAE*. 39(1): 253-261.
- Sawhney, V. K. Polowick, P. L. 1985. Fruit development in tomato: the role of temperature. *Canadian journal of botany*. 63(6): 1031-1034.
- Shahak, Y. Gal, E. Offir, Y. Ben-Yakir, D. 2008. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. In: *International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions*. Tucson, AZ. United States of America. 75-80 pp.
- Tanner, C.B. 1974. Microclimate modification: Basic concepts. *HortScience*. 9:555-560
- Thorne, S. Alvarez, J.S.S. 1982. The effect of irregular storage temperature on firmness and surface color in tomatoes. *J. Sci. Food Agric*. 33: 671-676.
- Toor, R. K. Savage, G. P. Lister, C. E. 2006. Seasonal variation in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *J. Food Comp. Analysis*. 19(1):1-10.
- Wittwer, S. H. 1993. World-wide use of plastics in horticultural production. *HortTechnology*. 3(1), 6-19.
- Yahia, E. M. Contreras-Padilla, M. González-Aguilar, G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *LWT-Food Science and Technology*. 34(7): 452-457.