

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Evaluación de las Propiedades Ópticas de Películas para Invernadero y Efectos sobre el Microclima y Rendimiento del Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:

DALIA LOPEZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTANICA

Evaluación de las Propiedades Ópticas de Películas para Invernadero y Efectos sobre el Microclima y Rendimiento del Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:


DALIA LOPEZ LOPEZ

Tesis

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada




Dr. José Francisco Rodríguez Martínez

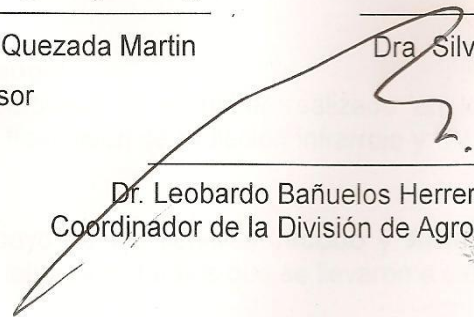
Asesor Principal



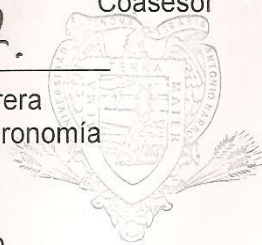
M.C. Ma. Rosario Quezada Martin
Coasesor



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2012

Coordinación
División de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A mi “ALMA TERRA MATER” agradezco infinitamente a mi “Alma” por permitirme realizar mis estudios durante más de 4 años.

Al centro de investigación en química aplicada (CIQA), por abrirme las puertas para poder realizar el desarrollo de este proyecto de investigación.

Agradezco al consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT), por su apoyo económico dentro del proyecto FOMIX_ COAH-2008-CO8-2-104092_ “Empleo de nanopartículas cerámicas y metálicas en el desarrollo de formulaciones para cubierta de invernadero”

A la gama de profesores que a lo largo de la carrera prestaron tiempo, consejos y asesoría, que sin sus conocimientos, enseñanzas y experiencia no habría sido posible concluir esta etapa tan importante en mi vida

A mis asesores:

M.C. Maria Rosario Quezada Martín Con la admiración que merece, agradezco la confianza brindada para realizar este trabajo de tesis bajo su asesoría y supervisión durante todo el trabajo.

Dr. José Francisco Rodríguez Martínez por su disposición, enseñanza y tiempo.

Dra. Silvia Yudith Martínez Amador Por su amistad brindada, consejos desde el tiempo en el que tuve fortuna de conocerla, por su disposición y accesibilidad con esta la última tarea de mi carrera.

M.C. Juanita Flores Velásquez

Agradezco su apoyo técnico en las evaluaciones de las variables y revisión de este trabajo de tesis.

M.C. Rosario Rangel

Agradezco su participación al haber realizado en los laboratorios del CIQA las evaluaciones de transmisión de radiación infrarrojo y UV de las películas evaluadas en este trabajo

Agradezco el apoyo de los señores **Jacobo** y **Arturo** por toda la ayuda que me brindaron en las labores culturales que se llevaron a cabo en el campo.

DEDICATORIAS

A Dios sobre toda las cosas por haberme dado la vida y la oportunidad de cursar mi carrera profesional iluminándome en todo momento y no permitió que desfallezca en el camino.

A mis padres:

Por haberme traído ha este mundo, por su comprensión, cariño y amor que me han brindado en todo momento y sobre todo por enseñarme a luchar en la vida con honradez.

Aquellas manos que oraron por mi cada día y me apoyaron en todo momento, de las que aprendí que la paciencia y la fe en Dios son la llave que abre todas las puertas, esas manos son las de mi madre **Enriqueta Lopez Díaz. Gracias mama.**

Aquellas manos maltratadas y cansadas que me enseñaron que el trabajo y el esfuerzo son el camino para alcanzar la satisfacción de ver realizado las metas propuestas, esas manos son las de mi **padre Hermenegildo Lopez Arcos.**

A mi amigo y compañero, **Ing. Alan Alejandro Gutiérrez Venegas** por su cariño, apoyo, comprensión, confianza y amor durante el tiempo que lo he conocido, a quien quiero verdaderamente. Gracias, Te amo.

A mis amigos y hermanos

Por su compañía, confianza y cariño, que me han brindado en todo este tiempo:

Edi López, Virginia Arcos, Bladimir Lopez, Gimena Lopez, Edgar Cárdenas, Daniela Alvarado.

A una familia muy especial para mí que con todo corazón puedo decir que son como mis segundos padres, **Ricardo Martínez y Trinidad Díaz**, gracias por estar siempre muy al pendiente mío sin condiciones, por cuidarme, por preocuparse, por todo su cariño y por estar siempre conmigo apoyándome en todas las circunstancias posibles.

A mis Hermanos Martínez Díaz

Deya, kio, Jair, luti y ely simplemente por el hecho de estar ahí a mi lado y convivir conmigo, gracias.

INDICE GENERAL

Contenido	página
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
INDICE GENERAL	III
INDICE DE CUADROS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	X
I. INTRODUCCION	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1.Plasticultura	4
2.1.1.Uso de las Películas Plásticas en la Agricultura	4
2.1.2.Invernadero	5
2.1.3.Películas para Invernaderos	5
2.2. Propiedades de las Películas de Invernaderos	7
2.2.1.Propiedades Ópticas	7
2.2.2.Propiedades Físicas y Mecánicas	8
2.2.3.Propiedades Térmicas	9
2.3. Nuevas Formulaciones de Películas para Invernaderos	10
2.3.1.Películas Frías	11
2.3.2.Películas Térmicas	11
	III

2.3.3.Películas Antigoteo	12
2.3.4.Películas Anti-insectos	13
2.3.5 Películas Fluorescentes	13
2.4. Factores Ambientales que Influyen en el Rendimiento del Cultivo	13
2.4.1.Radiación	14
2.4.2.Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)	15.
2.4.3.Temperatura	16
2.4.4.Humedad Relativa	17
2.4.5.Déficit de Presión de Vapor (DPV)	17
2.4.6.Modificación del Ambiente dentro de los Invernaderos	18
2.5.Generalidades del Cultivo de Pepino	19
2.6.Necesidades Edafoclimáticas	19
III. MATERIALES Y METODOS	22
3.1.Descripción del Sitio	22
3.2.Características Climáticas	22
3.3.Establecimiento del Experimento	22
3.4.Material Vegetal	23
3.5.Diseño Experimental	23
3.6.Películas Evaluadas	24
3.7.Temperatura, Humedad Relativa y Déficit de Presión de Vapor (DVP)	25
3.8.Almacenamiento de Datos	25
3.9.Variables Dependientes	26

3.10.Labores Culturales	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	29
4.1.Comportamiento Óptico de las Películas Evaluadas Durante la Caracterización Inicial	29
4.1.1.Transmisión de la Radiación Ultravioleta (UV)	30
4.1.2.Transmisión de la Radiación Total	31
4.1.3.Transmisión de la Radiación Fotosintéticamente Activa	32
4.1.4.Capacidad de las Películas para Difundir las Radiación PAR Difusa	33
4.2. Evaluación de la Radiación Fotosintética, Temperatura, Humedad Relativa y Déficit de Presión de Vapor. Durante el desarrollo del cultivo	34
4.3. Análisis del comportamiento de las variables fenológicas Área foliar y acumulación de Biomasa	51
4.4. Rendimiento y numero de frutos de pepino	54
V. CONCLUSIONES	56
VI. LITERATURA CITADA	57

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Requerimiento de temperatura en cada etapa de desarrollo del cultivo de pepino (Person <i>et al.</i> , 2003).	20
Cuadro 2	Propiedades ópticas de las diferentes películas evaluadas, con respecto a la referencia exterior.	29
Cuadro 3	Medias del rendimiento del cultivo de pepino bajo diferentes tratamientos de películas para invernadero, mediante Duncan con un nivel de significancia de 0.05	55

INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Efecto de la forma del agua de condensación en la cubierta del invernadero sobre la radiación (Lopez S/F).	12
Figura 2	Efecto de la radiación directa y difusa (Fuente: Hernández <i>et al.</i> , 2001).	15
Figura 3	Comportamiento de la radiación UV al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.	31
Figura 4	Comportamiento de la radiación total al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.	32
Figura 5	Comportamiento de la radiación PAR al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.	33
Figura 6	Capacidad de diferentes películas para difundir la radiación PAR al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.	34
Figura 7	Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20- 42 DDS.	35
Figura 8	Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20 – 42	36

DDS.

Figura 9	Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20 – 42 DDS.	38
Figura 10	Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 20 – 42 DDS.	39
Figura 11	Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.	41
Figura 12	Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.	43
Figura 13	Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.	44
Figura 14	Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 42-64 DDS.	45
Figura 15	Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.	46
Figura 16	Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con	48

	diferentes tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.	
Figura 17	Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.	49
Figura 18	Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 64-85 DDS.	50
Figura 19	Media del área foliar del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero cubierta con diferentes tratamientos de películas.	52
Figura 20	Comportamiento de la acumulación de biomasa en el cultivo de pepino bajo invernadero con diferentes tratamientos de películas.	53

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se estableció con el objetivo de determinar el efecto de las propiedades ópticas de las películas para invernadero sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del pepino (*Cucumis sativus*), para lograr este objetivo se evaluaron tres cubiertas para invernadero formuladas a base de polietileno de calibre 720 las cuales fueron colocadas en dos diferentes estructuras de invernadero, tipo túnel y capilla; la película colocada en la estructura tipo túnel fue una película experimental de CIQA, modificada con nanopartículas de la empresa peñoles (CIQA Pea), y la segunda fue una película de formulación comercial (COMERCIAL). En los invernadero capilla se colocaron las películas CIBA 2a y comercial.

Las variables que se evaluaron durante 3 diferentes fechas a lo largo del ciclo de cultivo fueron: **Dependientes** : Radiación PAR, Temperatura, Humedad Relativa y DPV **Independientes**: Área foliar, Biomasa total y Rendimiento. Los resultados durante el primer muestreo mostraron que ambas películas evaluadas presentaban bloqueo a la radiación PAR, la transmisión que permitieron al interior del invernadero fue de 75% para CIQA Pea y 67% para COMERCIAL. En el caso de la Temperatura y Humedad relativa los invernaderos tipo túnel se comportaron de manera similar; por debajo de la temperatura del ambiente exterior pero por encima de la humedad relativa registrada en el exterior, lo que tuvo inferencias en las variables que se evaluaron, con mayores valores en CIQA Pea. Esta tendencia se mantuvo hasta los 55 dds (tercer muestreo) debido a un sistema de forzado de enfriamiento. Después del primer muestreo se registró una caída en la capacidad transmisiva de las películas a la radiación PAR, con un resultado final de 54% y 49% de transmisión por parte de la película CIQA Pea y COMERCIAL, respectivamente. En cuanto a la temperatura y humedad relativa los valores después de la tercer fecha de muestreo registraron un aumento de cerca de 10 °C y un decremento de cerca del 15%, respectivamente. Con las características mencionadas de la película CIQA Pea se logró un incremento en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de pepino.

Palabras claves: Película, invernadero, PAR, T°C, H.R, DPV, Pepino.

I. INTRODUCCION

México cuenta con una variedad y diversidad de climas y suelos; lo cual lo convierte en un país atractivo para producir hortalizas durante todo el año. Sin embargo en la producción agrícola el país enfrenta, al igual que el resto del mundo el cambio climático y la alteración de los ecosistemas, la escasez y mala distribución del agua potable de riego, la contaminación ambiental del suelo, agua y aire, la degradación de los suelos y la desertificación global, la pérdida de fertilidad natural y disminución de la productividad de los suelos que obligan en pensar en grandes transformaciones. Y es donde la agricultura protegida se le ha visto como una alternativa para un sistema de producción intensiva, es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos de los riesgos que pueden ser: climatológicos y limitaciones de recursos productivos (agua o de superficie).

Ortiz et al., (2009) mencionan que el uso de invernaderos representa una opción para incrementar la productividad agrícola, al propiciar un ambiente poco restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas que el que ocurre a cielo abierto.

En investigaciones anteriores, se menciona que los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es evidente a nivel mundial, su uso en forma de películas para acolchado, microtuneles, tuneles e invernaderos. En México, el uso de invernaderos ha adquirido auge en la producción de hortalizas en gran escala, específicamente para los cultivos rentables como son plántulas de tomate, chile, y pepino entre otros (Samaniego *et al.*, 2002). En cultivo bajo invernadero algunos factores pueden ser controlados, principalmente la radiación y la temperatura, de tal manera que los rendimientos de cosecha sean los más próximos al potencial genético de la variedad o especie. El microclima bajo invernadero debe ser el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada (Caldari, 2007). Las plantas dependen de la radiación solar porque es la fuente de energía que necesitan para realizar la fotosíntesis la cual determina su crecimiento, desarrollo y poder cumplir su ciclo de vida (Lopez *et al.*, 2001). Por lo tanto una de las propiedades que debe cumplir las películas plásticas para la agricultura protegida, es que debe transmitir una cantidad de radiación suficiente para que las plantas puedan realizar su función fotosintética en forma eficiente. Dentro del invernadero debe de

haber un microclima adecuado para que las plantas puedan realizar sus funciones de forma óptima. Actualmente se sabe que las condiciones microambientales dentro de los invernaderos dependen principalmente de las características ópticas de las película empleadas, es decir de su transparencia a la radiación total y fotosintética, el porcentaje de difusión de la luz, y del bloqueo a la radiación ultravioleta (UV), radiación infrarrojo cercano (NIR) y radiación infrarrojo lejano y estas propiedades ópticas influyen a su vez directamente sobre la temperatura del ambiente y la humedad relativa lo que genera a su vez un determinado déficit de presión de vapor (DVP). Estas condiciones microambientales generadas por las películas son finalmente las que influyen fuertemente en las respuestas fisiológicas y productividad de los cultivos.

En función de lo anterior en este trabajo se evaluaron diferentes películas para invernadero, desarrolladas en el CIQA, con propiedades ópticas diferentes y fueron comparadas con una película comercial de amplio uso en México, para determinar el efecto de las propiedades ópticas sobre las condiciones microambientales de los invernaderos y sobre la respuesta de desarrollo y rendimiento del cultivo de pepino; apoyando así el desarrollo de películas para invernadero en México que modulen las condiciones microambientales de los invernaderos con baja y mediana tecnología en regiones cálidas, para resolver el problema de altas temperaturas que afectan negativamente los cultivos y resolver en parte el problema de los agricultores del país de climas cálidos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las propiedades ópticas de las películas de invernadero y su efecto sobre el microclima y el impacto del microclima sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de pepino.

Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de las propiedades ópticas de las diferentes formulaciones de películas para invernadero y su efecto sobre la temperatura del ambiente, humedad relativa y déficit de presión de vapor (DVP).
- Determinar el efecto de la temperatura y DVP sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo
- Determinar que propiedades ópticas de la película producen los mejores resultados y favorecen el microclima para la producción en invernaderos.

HIPOTESIS

Las propiedades ópticas de las películas para invernadero son las que influyen mas sobre las condiciones microambientales de los invernaderos y su modulación beneficia el desarrollo y rendimiento del cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Platicultura

La aparición de los plásticos procedentes de la industria química ha tenido múltiples aplicaciones en la vida moderna; una de ellas es la agricultura llamada platicultura (Cenamar, 1985 citado por Zermeño, 2003). Los plásticos son materiales de variados usos que se producen a partir de reservas fósiles de energía como el petróleo. El usos de materiales plásticos ha tenido una enorme difusión en el campo agrícola debido a sus enormes ventajas teniendo un campo de aplicación muy diverso que hacen de estos materiales una tecnología importante para el control de factores adversos en la agricultura. El plástico en agricultura se utiliza en invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas agrícolas, en el control de plagas (plásticos fotoselectivos), en el control de enfermedades (solarización), en el riego (Robles *et al.*, 2005)

2.1.1. Uso de las Películas Plásticas en la Agricultura

El empleo de los plásticos en la agricultura ha logrado convertir zonas de la geografía nacional aparentemente improductivas en modernas zonas agrícolas, como es el caso de la provincia de Almería España. Las principales aplicaciones de los plásticos en la agricultura son la construcción de invernadero, macro y microtúneles, mallas y acolchados. En México la aplicación de los plásticos se extiende continuamente así también cada vez se mejora las aplicaciones agrícolas de los plásticos. El principal objetivo de la cubierta de invernaderos es crear un clima en el interior que permita el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluso en aquellas épocas cuyas condiciones climáticas no permiten que los cultivos puedan desarrollarse al aire libre, de esta cubierta dependerá principalmente los resultados logrados en los cultivos (Quezada, 2004).

2.1.2. Invernadero

Los invernaderos o abrigos son construcciones agrícolas que tienen por objeto la producción sistemática y fuera de estación, de productos hortofrutícolas, convirtiéndose en instrumentos de trabajo que permite controlar eficazmente los rendimientos en calidad y cantidad se puede decir que es un factor de seguridad.

El aumento de los rendimientos está relacionado básicamente con algunos factores tecnológicos y estos se inician en Holanda e Israel, a principios de los años 60, para producir hortalizas bajo condiciones de invernadero. Estas técnica, se difundieron rápidamente y alcanzaron un gran desarrollo en otros países como España, Italia, Turquía, Japón, Estados unidos, México, Chile y Argentina (Cenamar, 1985 citado por Zermeño,2003). El uso de platicos en la agricultura podría ayudar a resolver y evitar en buena medida los daños y baja producción por el clima extremo específicamente en zonas donde el agua es factor limitante en la producción.

El invernadero es una estructura metálica dotada de una cubierta translúcida usada para el cultivo y/o protección de plantas, la cual optimiza las condiciones climatológicas y la transmisión de radiación solar, bajo un ambiente controlado para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas (NMX, 2005).

Un invernadero es un sistema productivo en donde se puede obtener cosechas fuera de la época normal en la que se produce al aire libre; el principal objetivo es condicionar los principales elementos del clima entre límites que estén de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo, de forma que el sistema resulte económicamente rentable.

Los invernaderos se clasifican de acuerdo al régimen térmico, el tipo de material de cobertura, a la forma y las estructura, estas especificaciones serán suficientes para diseñar el invernadero apropiado a nuestras necesidades (García *et al.*, 2002).

2.1.3. Películas para Invernaderos

La cubierta de los invernaderos es crear un clima en el interior que permite el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluso en aquellas épocas cuyas condiciones climáticas no permiten que los cultivos puedan desarrollarse al aire libre, de esta

cubierta dependerá principalmente los resultados logrados en los cultivos. El material adecuado para la cobertura de invernadero es aquella que durante el día permite que el calor acumulado dentro del invernadero no sobrepase la temperatura máxima y por la noche lo más opaco a las radiaciones de longitudes de onda larga ya que son las que se encarga de mantener caliente el interior del invernadero (Quezada, 1987).

Existen diferentes materiales de cobertura al igual que las características y sus diferentes usos.

Vidrio: Es el material más transparente que existe. Tiene buena filtración de las radiación IR. Históricamente, fue el primer material que fue usado para invernaderos en Europa. Sus desventajas son muy frágil y peligroso, relativamente caro.

Polietileno: Es un plástico flexible, con una buena transparencia, resistencia y relevantemente barato. Además adquiere una larga gama de características físicas, ópticas y químicas, que pueden ser incorporadas en la película como una parte integral. Hoy en día, es el material más práctico y común, entre los que se usan para las cubiertas de los invernaderos.

Materiales Rígidos: Son plásticos transparentes, gruesos y flexibles, hechos de una combinación integral de polietileno y una malla metálica, policarbonatos, polimetilmetacrilatos, PVC. Son materiales muy resistentes y de una larga duración después de su colocación. Su transparencia es mayor o menor que la del polietileno usándose en cultivos de todo tipo. (Meir, 2004).

Mallas Mosquiteras: Generalmente es una malla de polietileno, pues es el material más transparente entre las mallas y relativamente económica. Esta barrera sirve para evitar la penetración de plagas como la mosca blanca, los áfidos, entre otras plagas. Por otra parte permite la entrada de aire natural. En la actualidad esta malla puede presentar cualidades ópticas como las del polietileno, en cuanto a la resistencia a la radiación UV. Generalmente esta malla se utiliza para cubrir las ventanas cenitales, pero en ciertas ocasiones se puede usar como la única cobertura de las construcción en las partes laterales (Meir, 2004).

2.2. Propiedades de las Películas de Invernaderos

Un material para cubierta de invernadero debe cumplir con ciertas características para poder cumplir su función, por lo que dentro de las propiedades indispensables están las ópticas, físicas y mecánicas principalmente. Dentro de estas propiedades ópticas, es muy importante que la cubierta tenga buena difusión de la luz para el buen desarrollo del cultivo. Además debe cumplir un periodo sin deteriorarse ni perder sus características ópticas, como el cambio de color provocado por los rayos UV, la pérdida de transparencia o la degradación de las películas utilizadas para cubiertas de invernaderos (Quezada *et al.*, 2011).

Hoy en día se buscan más materiales fiables que garanticen ciertos parámetros como duración, termicidad, antigoteo, efecto antiplagas. Obviamente las necesidades varían en función de la zona, del conocimiento de los productos y de la oferta de productos en su área, por lo que para cada zona y cultivo se debe buscar su tipología de invernadero y plástico óptima.

2.2.1. Propiedades Ópticas

Las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación y transmisión de la radiación afectando la distribución o proporción de radiación difusa, afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogénicos (Castilla, 2001). En investigaciones anteriores (Giocomelli *et al.*, 1988) mencionan que la cantidad de radiación solar transmitida a través del techo de un invernadero está determinada por muchos factores tales como las propiedades ópticas del material.

- ❖ **Transmitancia:** Es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresa como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior. (Cabrera *et al.*, 2009) mencionan que la transmitancia depende principalmente de las propiedades difusivas de la cubierta y del ángulo de incidencia, también demuestra que los

factores extrínsecos, como la condensación y acumulación de polvo, podrían tener efectos importantes en la transmitancia

- ❖ **Difusión:** Características de suma importancia de una película para invernaderos, hace que los rayos solares en la longitud de onda de la luz visible (400-780 nm) al pasar por la película, se dispersa por todo el interior del invernadero, la luz directa se convierte en la luz difusa, logrando de esta manera evitar sombras dentro del invernadero y que la iluminación se mas homogénea. Esto nos indica que la radiación necesaria para la fotosíntesis, llegara a todas las partes de la planta, ayudando a su desarrollo y mejorando la producción (Elizalde, 2007)
- ❖ **Opacidad:** Es conocida también como nebulosidad, se refiere a la cantidad de la luz que es desviada en una distancia determinada, a través de una muestra, donde el grado de desviación depende del tamaño de la parte cristalina, por lo que la nebulosidad tiende a aumentar con la densidad del polímero.

2.2.2. Propiedades Físicas y Mecánicas

Las películas de invernadero sufren una degradación durante su uso. De hecho el efecto de la temperatura y la radiación UV durante su vida útil causa daños relevantes en la estructura química y por lo tanto las películas pierden sus propiedades (Dintcheva *et al.*, 2010).

La elección del material para cubierta influirá en el tiempo de estructura del invernadero, es decir, determinar el peso que debe soportar la estructura por lo tanto el espacio que debe haber entre pilares, barras de soportes, correas, distancia entre canal y cumbrera y forma de techo.

- ❖ **Peso:** Las películas de plásticos tienen poco peso lo que reduce su exigencia en estructura y por tanto, aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo. Los materiales rígidos además de un peso mayor presentan un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soporte.

- ❖ **Densidad:** La densidad va depender de varios factores como la masa de molecular, el proceso de síntesis y/o el grado de cristalinidad. Los polímeros de C y H, no tienen átomos pesados y la masa molecular es bastante pequeña, como es el caso del polipropileno, con una densidad de 0.9 (masa por unidad de volumen). Sin embargo, si se añaden átomos más pesados, la masa por unidad de volumen será mayor como el caso del PVC, con una densidad de alrededor de 1.4. La densidad modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte, aunado a un menor precio.
- ❖ **Espesor:** Las unidades de medida son generalmente milímetros cuando se utiliza vidrio y plásticos rígidos, y micras o mil (milésimas de pulgada) para las películas para invernadero.
- ❖ **Resistencia al rasgado.** Especialmente en zonas de granizo, nieve o viento.
- ❖ **Resistencia a la deformación por altas temperaturas.**
- ❖ **Resistencia al rompimiento por bajas temperaturas.**
- ❖ **Envejecimiento.** La elongación de los materiales utilizados como cubiertas en invernaderos viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, ópticas o radiométricas y mecánica (Fuentes, 2010).

2.2.3. Propiedades Térmicas

Según las normas españolas el efecto termoaislante de las películas consideradas como térmicas debe ser inferior al 20% de transmitancia, lo que quiere decir que el plástico no debe dejar de escapar más del 20% de calor acumulado en el interior del invernadero, de tal manera las propiedades de las películas permitan retener la radiación térmica (calor) en el interior de los invernaderos, manteniendo una mayor temperatura y por tanto otorgando una mayor protección contra las heladas (Alvarado y Urrutia, 2000).

Los modernos polietileno termoaislantes; éstos, de fabricación en coloración amarilla o blanca, con espesores diversos presentan en su composición una serie de resinas, que les inducen propiedades térmicas. Estas propiedades están basadas en la opacidad térmica que presenta el material ante las radiaciones infrarrojas de longitud

de onda larga, reflejadas por el suelo del invernadero y que pretenden escapar del interior, dotando al invernadero de una elevada inercia térmica y una gran resistencia a la inversión térmica propiciada por temperaturas extremas en el exterior. Actualmente existen otros materiales plásticos de lámina flexible tales como los EVA; estos son copolímeros de PVC, que tienen buenas cualidades térmicas (González *et.al.*, 1992).

La capacidad de protección contra el frío de un material depende del porcentaje de transmitancia. El invernadero está expuesto a la radiación solar visible, rayos ultravioleta e infrarrojo cercano. Esta radiación pasa a través del invernadero y genera aumento de temperatura dentro del mismo. La energía térmica puede ser acumulada en el interior del invernadero durante el día y se emitirá de nuevo a los alrededores por la noche, lo que lleva a la condición térmica estable que proporcionará un crecimiento constante durante el cultivo de plantas en el interior del invernadero (Dintchera *et al.*, 2001; citado por Charinpanit kul *et.al.*, 2007).

2.3 Nuevas Formulaciones de Películas para Invernaderos

Debido a la demanda de mejores tecnologías en la industria y agricultura protegida los tipos de materiales que se utilizan en la actualidad son diferentes, estos van desde vidrio tradicional hasta la llegada de polímeros plásticos, tales como películas delgadas o de múltiples capas de paneles rígidos de plásticos termoestables etc. Pero hoy en día existen aditivos que confieren diferentes características ópticas y físico-mecánicas tales como los que actúan como inhibidores de rayos ultravioleta para evitar degradación por efecto de la radiación UV, la absorción de radiación infrarrojo IR, anti- condensación de las superficies por goteo; esto evita el efecto lupa en las hojas de las plantas etc. (Giacomelli y Roberts, 1993).

El empleo de aditivos distintos en los procesos de fabricación da lugar a diferencias muy significativas en el plástico final. Las industrias de plásticos son los verdaderos conocedores de sus productos y por tanto a ellos les pertenece plantear el nivel de confianza que un agricultor demanda (Papaseit, 1993).

2.3.1 Películas Frías

También conocidas como películas IR, su principal propiedad de esta película es impedir la entrada de la radiación solar principalmente en el rango del infrarrojo cercano (NIR). Esto es para evitar el sobrecalentamiento dentro de los invernaderos, como suele suceder con los invernaderos que se localizan en lugares tropicales o desérticos, al estar sometido a las excesivas temperaturas durante todo el ciclo del cultivo experimentan problemas de sobrecalentamiento. Los agricultores buscan alternativas para solucionar este problema utilizando mallas de sombreo o el blanqueo de las cubiertas. Ambos evitan la transmisión de energía térmica en el infrarrojo cercano que es aproximadamente un 45% del total, pero esto ocasiona problemas al disminuir la transmisión de la PAR. Las cubiertas ideales para este tipo de clima serían aquellas que filtren la NIR, para mantener fresco el invernadero sin verse afectada, la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Espí *et al.*, 2002).

2.3.2. Películas Térmicas

Son adecuados para zonas frías o propensas a largos periodos fríos o heladas. Lo que se busca de estas películas es que impidan que el calor acumulado durante el día no se pierda fácilmente en la noche, protegiendo y asegurando una cosecha temprana y garantizando un mejor rendimiento. Las películas térmicas son permeables a las radiaciones en el rango de infrarrojo cercano (NIR); esta fracción es la zona del espectro electromagnético comprendida entre los 2.5 μm y los 25 μm ; en este rango se sitúa la mayor parte de emisión de radiación terrestre y de los objetos. Entonces se puede decir que un invernadero durante el día permite que la radiación infrarrojo cercano (NIR) es absorbida por las plantas, el suelo y materiales de construcción dando como resultado el calentamiento de estos elementos y durante la noche, todos los elementos que han adsorbido esta energía, la emiten como radiación de luz infrarrojo de onda larga (LIR) pero la película es impermeable a las radiaciones de longitud de onda larga evitando de esta forma que se escape el calor del invernadero durante la noche. De esta manera mantienen la temperatura dentro del invernadero aun en momentos en que la temperatura exterior es muy baja evitando de esta forma que el descenso térmico incida en los cultivos, lo cual

ocasionaría paros vegetativos que reduciría el rendimiento y la precocidad (Espí *et al.*, 2002)

2.3.3. Películas Antigoteo

Algo muy importante en relación a la cubierta de los invernaderos es que no debe formar el efecto de la condensación de vapor de agua porque esto origina gotas de agua sobre la superficie interna del plástico, ya que esto reduce la radiación de onda corta, aumenta el riesgo de enfermedades al caer sobre los cultivos y daños en las plantas como quemaduras.

Mediante una formulación adecuada se ha conseguido aumentar la trasmisividad y reducir el ataque de enfermedades. Estas películas tienen aditivos con elementos que permiten modificar la tensión superficial, de esta forma la gota de agua en contacto con el material de cubierta tenga un ángulo más pequeño, tendiendo a ser plana. Esta propiedad de la película hace que las gotas que se condensan en la parte interna de la película tiendan a unirse unas con otras. Si la estructura permite la eliminación de esa capa de agua, se evitaría el goteo sobre los cultivos y por ello el riesgo de enfermedades y quemaduras causados por el efecto lupa (Figuroa, 2008).

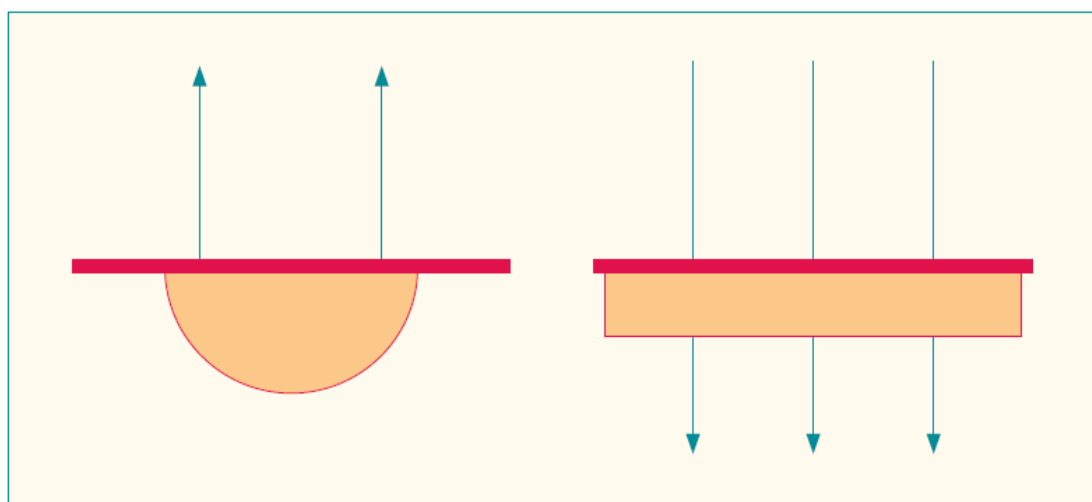


Figura 1 Efecto de la forma del agua de condensación en la cubierta del invernadero sobre la radiación (Lopez,s/f)

2.3.4 Películas Anti-insectos

La radiación solar es fundamental para que los seres vivos podamos ver, pero dependiendo de la especie necesita una fracción diferente de esta radiación. Para los insectos es indispensable la radiación ultravioleta que comprende de los 290-380 nm. Pero en la mayor parte de las películas de invernadero llevan una importante carga de aditivos capaces de absorber entre el 60% y 70% de esta radiación. Las películas anti-insectos absorben una mayor parte de la radiación UV, por lo tanto no permite entrada de UV en el interior del invernadero. Las plagas o enfermedades causados por hongos o por virus transmitidos por insectos se verán afectados en el desarrollo debido a la disminución o ausencia de esta radiación, pero muy ventajoso para la producción y menos perdida por ataques de plagas y enfermedades. Se debe entender que los plásticos anti-insectos no actúan matando la plaga como los productos insecticidas, su funcionamiento consiste en impedir la entrada de la radiación UV que los insectos necesitan para ver dentro del invernadero, sin afectar a la radiación PAR que necesita las plantas (Perez *et al.*, 2007).

2.3.5 Películas Fluorescentes

Estos tipos de materiales absorben la radiación solar en las longitudes menos útiles para la planta y remiten la radiación en otras longitudes más eficientes para la fotosíntesis (próximas a los 650 nm), de esta forma sería posible aumentar la fotosíntesis global (Lopez s/f).

2.4. Factores Ambientales que Influyen en el Rendimiento del Cultivo

Los factores climáticos tienen una gran importancia sobre el funcionamiento óptimo de los fenómenos fisiológicos de las plantas. El desarrollo fisiológico óptimo de las plantas depende de algunos factores como la temperatura, luminosidad, humedad relativa, concentración de bióxido de carbono y oxígeno, si uno de los factores queda reducido, puede anular el esfuerzo que se haga con los restantes factores fundamentales. Por eso es muy importante que a medida que aumente la luminosidad en el interior del invernadero hay que aumentar la temperatura, la humedad relativa y

el bióxido de carbono para obtener el máximo rendimiento en la fotosíntesis. La temperatura aumenta de forma natural, a mayor luminosidad mas temperatura; en cambio la humedad relativa puede disminuir ya que a mayor temperatura, menor humedad relativa. El bióxido de carbono también puede disminuir al haber mayor consumo por parte de las plantas en la fotosíntesis, si aumenta la luminosidad, la fotosíntesis se realiza con la máxima intensidad entre la longitud de onda de 440 y 620 nm, es decir en la mayor parte de la radiación visible (Serrano, 2005)

2.4.1. Radiación

La radiación electromagnética es uno de los factores más determinantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. De manera natural la radiación presenta variaciones en la cantidad incidente, en la calidad espectral y en la duración del fotoperiodo que dan lugar a cambios en la eficiencia bioquímica de los sistemas de captura de radiación, así como en el crecimiento, en la composición química de los tejidos y con los esquemas de desarrollo de la planta (Geiger *et.al.*, 1994 citado por Benavides, 1999).

La parte de la radiación solar que proviene directamente del sol se denomina radiación directa. Es la radiación solar que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin haber sufrido difusión, ni reflexión alguna. Se menciona que la radiación directa sigue una trayectoria recta con mínimas desviaciones al atravesar la atmosfera terrestre, es decir, sigue una dirección proviniendo del sol. La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejados, desviados o dispersados los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o translucido en el caso de la película de un invernadero. La suma de radiación directa y radiación difusa constituye a la radiación solar total o global (Hernández *et al.*, 2001).

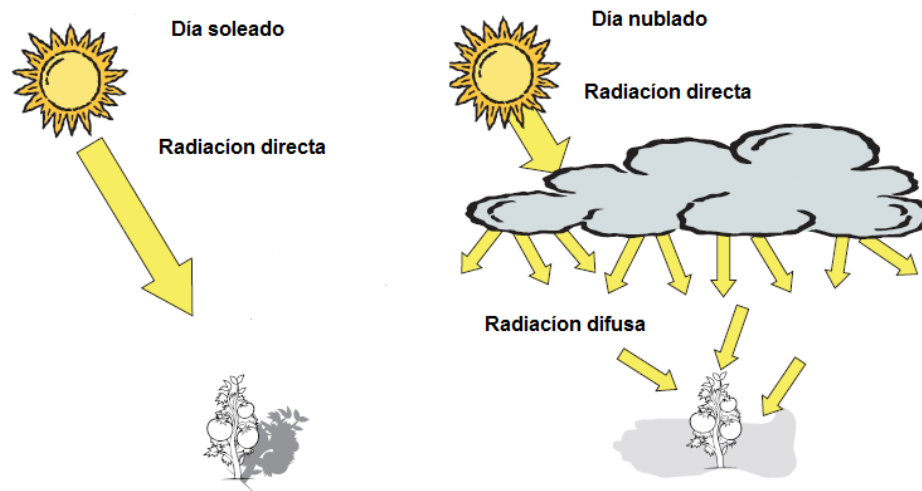


Figura 2. Efecto de la radiación directa y difusa (Fuente: Hernández *et al.*, 2001).

Para muchos cultivos la luz difusa significa crecimiento más uniforme de plantaciones y en muchos casos mayor calidad de los frutos de las plantas (Papasseit, 2009).

Pero la cantidad de radiación solar recibida por una superficie depende de la época estacional y de las circunstancias ambientales (Serrano, 2005).

La radiación es un factor imprescindible para llevar adelante una serie de procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante de todos la “fotosíntesis”, mediante el cual producen materia vegetal crecimiento y desarrollo. Parte de este material vegetal es el producto cosechable del cultivo sea fruto, hoja, tallo o raíz. Así pues existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido (Caldari, 2007).

2.4.2. Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

Las longitudes de onda que las plantas utilizan son llamadas radiación fotosintéticamente activa o PAR (400 a 700 nm), cerca de 45 al 50% de la radiación total). Esta radiación actúa sobre la asimilación de carbono, la temperatura de las hojas y en el balance hídrico, y en el crecimiento de órganos y tejidos, principalmente en el desarrollo de tallos, expansión de hojas y en la curvatura de tallos; interviene también, en la germinación de semillas y en la floración. Sin embargo, la radiación

sobre los organismos no es homogénea ni en su calidad ni en su intensidad. La calidad de la luz varía ligeramente en la naturaleza, principalmente de acuerdo con la localización de la producción o invernadero (Caldari, 2007).

De entre todos los factores ambientales que afecta a las plantas quizá sea la luz el que presenta la mayor heterogeneidad. En una formación vegetal más o menos densa las hojas se sobreponen entre ellas sombreándose unas a otras. La radiación es rápidamente absorbida por el dosel de la planta en la parte superior y posteriormente penetra hasta llegar a la parte inferior (1 a 2 % de la luz incidente); donde la fracción menos intensa debido a que en la parte superior ya ha sido absorbida. Esta desigual distribución de radiación que llega a las diferentes partes de las plantas tiene consecuencias directas en la composición de los pigmentos. Dicho de otra manera, en un día soleado se puede asumir que todas las hojas de las plantas están recibiendo un exceso de energía lumínica; en realidad esta es distinta tanto para las diferentes partes de la planta como entre plantas. En el transcurso del día a medida que cambia el ángulo de incidencia solar, las hojas que están siendo soleadas en un momento dado pueden dejar de estarlo momentos después y viceversa (Manrique, 2003).

2.4.3. Temperatura

Cada función vital del vegetal necesita unas temperaturas críticas, por encima o por debajo de ellas no se realiza o se ven dificultadas. Cada especie vegetal, en cada momento crítico de su ciclo biológico, necesita una temperatura óptima para su desarrollo normal, La temperatura influye principalmente en las funciones vitales de las plantas como son transpiración, respiración, fotosíntesis, germinación, floración, fructificación. Lo primero que se debe tomar en cuenta en un invernadero es la temperatura, por lo tanto es necesario reducir las oscilaciones diurnas y estacionales de la temperatura ambiental para que las plantas puedan crecer en un nivel térmico óptimo, los procesos fisiológicos como es la respiración y fotosíntesis responden a la temperatura (Serrano, 2005).

La temperatura influye en el crecimiento y metabolismos de la planta, y no hay proceso fisiológico que no esté influenciado. La respuesta de las plantas a la temperatura es diferente según el proceso metabólico y el estado de desarrollo de las

plantas (Alpi y Tognononi, 1999).

2.4.4. Humedad Relativa

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. Dentro de un invernadero, el aire es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas. Las plantas tienen que transpirar agua para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento. La transpiración depende del déficit de saturación entre los estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o demasiado bajos influyen en la fisiología del cultivo y en su desarrollo. Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y por consiguiente la absorción de nutrientes; si es demasiado bajo se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis. La humedad relativa del aire dentro del invernadero es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos (Huertas, 2008)

2.4.5. Déficit de Presión de Vapor (DPV)

La presión del vapor ($p_{v_{\text{aire}}}$) es una medida de la cantidad de vapor presente en el aire. Más vapor de agua en el aire resulta en mayor presión del vapor. Cuando el aire llega a tener el máximo contenido de vapor, la presión del vapor se llama presión de vapor de saturación ($p_{v_{\text{sat}}}$), la cual está relacionada directamente con la temperatura. Así que, la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión real de vapor en el aire ($p_{v_{\text{sat}}} - p_{v_{\text{aire}}}$) es la definición matemática de DPV. El valor del DPV indica cuán cerca está la condensación, y en consecuencia, de las condiciones que favorecen la ocurrencia de enfermedades, en el ambiente del invernadero (Prenger y Ling, 2007).

La extracción de humedad en el interior del invernadero se efectúa a través de la deshumidificación, un proceso que ajusta el equilibrio de agua en el aire y en las superficies del invernadero. DPV es la diferencia (déficit) entre la cantidad de agua en el aire (en forma de vapor) y la cantidad de humedad que puede acomodar cuando está saturado de agua (vapor). DPV funciona como un práctico indicador del potencial de condensación al cuantificar cuán cerca está el aire en el invernadero de su punto

de saturación. El aire está saturado cuando alcanza su máxima capacidad de retener agua en cualquier grado de temperatura (punto de condensación). Al agregar humedad al aire más allá del punto de condensación se produce una deposición de agua líquida en algún lugar del sistema hídrico (Prenger y Ling, 2007).

2.4.6. Modificación del Ambiente dentro de los Invernaderos

En el ambiente de un invernadero existen muchas variables importantes que deben ser monitoreadas y controladas. Por ello, el cultivo forzado o protegido se define como aquel que se realiza en unas estructuras productivas (invernaderos y protecciones) capaces de crear un microclima favorable para el desarrollo de las plantas. En una construcción con esta finalidad debemos poder regular y controlar su nivel hidrotérmico (temperatura y humedad), así como la radiación solar (la luz) a lo largo del día. La principal finalidad de cultivar en invernadero es la de proporcionar protección de las bajas temperaturas (por debajo del mínimo y óptimo biológico) y en ocasiones de las temperaturas excesivas, protección a los vientos fuertes, disminuir el consumo de agua y mejorar el ambiente protegiendo la planta de plagas y enfermedades. De este modo los objetivos del cultivo forzado son el aumento de la producción, mejorar la calidad y precocidad en relación a su producción en el exterior, así como producir plantas con exigencias climáticas diferentes a las existentes en el ambiente natural (Castellvi y Elías, 2001).

Climatizar un invernadero significa regular las condiciones del clima en el interior del mismo y adaptarlo a las exigencias de las plantas que se va a cultivar, durante las diversas fases del ciclo de cultivo. Para llevar a cabo una climatización racional, es preciso conocer el nivel óptimo de los diversos elementos del clima, las modificaciones climáticas producidas por la protección y las características de los mecanismos de climatización. Los factores climáticos que pueden ser regulados son la temperatura, la humedad relativa, la luz y la concentración del bióxido de carbono. En todo caso no se recurre a una total climatización ya que, con frecuencia solamente se toma en consideración algunos factores y únicamente cuando se acerca el punto crítico. Se toma en cuenta que esta práctica no es muy racional por cuanto a los diversos factores climáticos no son independientes; cuando la temperatura del aire se

baja la humedad relativa aumenta, incrementando la iluminación sube la temperatura etc. y, además, los diversos parámetros inducen acciones sobre la actividad fisiológica de las plantas (Tesi, 2001).

2.5. Generalidades del Cultivo de Pepino

Origen.

Es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, cultivado hace 3,000 años en el Noroeste de la India, posteriormente fue trasladado a otras partes del mundo, especialmente en América (Centa, 2003).

2.6. Necesidades Edafoclimáticas.

Suelo

El pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado. Es una planta medianamente tolerante a la salinidad, de forma que si la concentración de sales es demasiado elevada en el sustrato las plantas absorben con dificultad el agua de riego, por lo tanto el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja, el resultado se invertirá, dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5.5-7.0 (Parsons *et al.*, 2003; citado por Té, 2008):

Temperatura

Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20 y 30 °C apenas tiene incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25 °C, mayor es la producción precoz. Por encima de los 30 °C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis, respiración; temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17 °C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12 °C y a 1 °C se produce la helada de la planta. El pepino demanda hora calor con una humedad relativa alta,

aunque se adapta muy bien a climas templados cálidos, pero la temperatura ideal va de 22 a 32 °C, pues se ha observado que a temperaturas mayor de 40°C detiene su crecimiento y a menores de 14 ° C su crecimiento se detiene y tira sus flores. En base a su fotosíntesis en una planta C-3 y requiere fotoperiodo completo de 12 horas luz. Las plantas manifiesta síntomas en las hojas que pueden llegar a confundirse con la carencia de nutrimentos, de hecho lo son, pero la causa primaria es la temperatura (Cuadro 1). (Parsons *et al.*, 2003 citado por Té,2008).

Cuadro 1. Requerimiento de temperatura en cada etapa de desarrollo del cultivo de pepino (Parsons *et al.*, 2003 citado por Té,2008).

Etapa fenológico	Temperatura (°C)	
	Diurna	Nocturno
Germinación	27	27
Crecimiento de la planta	21	19
Desarrollo del fruto	19	16

Humedad

Por ser una planta con mucha superficie foliar requiere elevado humedad, siendo la humedad relativa óptima durante el día 60-70% y durante la noche 70-90%. Sin embargo una transpiración excesiva por humedades relativas bajas provoca golpe de sol en los frutos jóvenes y en casos muy graves quemado de borde o eliminación de superficie foliar. El asurado o conocido como golpe de sol es la causa más común de pérdida de producción. Para humedades superiores al 90% y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederlas a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie (Parsons *et al.*, 2003 citado por Té,2008).

Luminosidad

El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción (Parsons *et al.*, 2003 citado por Té,2008).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del Sitio

El presente trabajo se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano de 2011 en invernaderos experimentales del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) ubicado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México; las coordenadas geográficas de su ubicación son: 25° 27' de latitud Norte y 101° 02' longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1610 msnm.

3.2. Características Climáticas

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (modificada por García,1973), el clima de Saltillo corresponde a un tipo estepario, con fórmula climática *BSoK (x') (e')*.

Donde:

Bs: seco (árido y semiárido).

BSo: Es el clima más seco de los *Bs*.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C.

(x'): Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno

(e'): Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C.

En general la temperatura media anual es de 18 °C y la precipitación pluvial de 365 mm, los meses más lluviosos son Julio a Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.3. Establecimiento del Experimento

El experimento se estableció en 4 invernaderos experimentales de diferentes estructuras las cuales fueron 2 invernaderos tipo túnel y 2 tipo capilla. Las películas a evaluar fueron colocadas entre los meses enero-febrero de 2011 para lo cual se ocuparon sujetadores o alambre en forma de zig-zag, cerchas de acero galvanizado y

tiras de plástico para poder ser sujeta la película a las diferentes estructuras de invernadero ya antes mencionadas.

Al mismo tiempo que se colocaban las películas en los invernaderos de evaluación, las películas plásticas fueron caracterizadas ópticamente en microtúneles

Para establecer el cultivo se utilizaron macetas de plástico color negro (polietileno) con una capacidad de 12 litros, fueron llenadas con 9 litros de sustrato estéril (perlita) y posteriormente dentro de cada invernadero se distribuyeron 6 hileras, con una distancia entre hileras de 1.20 m entre ellas y una separación entre las macetas de 30 cm (tipo capilla) y en los invernaderos tipo túnel se colocaron 5 filas de macetas y de igual forma colocados con el mismo espaciamiento y la separación.

Antes de llevar a cabo la siembra se hizo la saturación del sustrato con agua para proporcionar a la semilla la humedad suficiente para su germinación; posteriormente se perforaron las macetas en la parte inferior, para eliminar el exceso de humedad y tener un buen drenado, necesario para eliminar la posible acumulación de sales y excesiva humedad en la parte radical del cultivo.

El 29 de marzo de 2011 se sembraron, directamente en cada maceta, dos semillas de pepino a una distancia de 7 cm entre estas, para tener una densidad por hectárea de 26,000 plantas.

3.4 Material Vegetal

Se utilizó la semilla de pepino de mesa, el híbrido Turbo, para consumo en fresco, con una pureza de 99 M y un porcentaje de germinación del 95.00.

3.5. Diseño Experimental

El diseño que se utilizó para el análisis de rendimiento total es completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones, en donde los tratamientos fueron las películas y las repeticiones el material vegetativo. Los tratamientos evaluados fueron tres:

- 1) Formulación de película plástica comercial (Comercial);
- 2) Formulación de película plástica experimental de CIQA (CIQA Pea);
- 3) Formulación de película plástica CIBA (CIBA 2a).

Los datos fueron analizados usando el método general lineal univariado en el software SAS Versión 9.2, con 3 tratamientos y cuatro repeticiones. Las medias de los datos obtenidos se analizaron usando la prueba DMS (0.05).

3.6 Películas Evaluadas

Las películas plásticas para invernadero evaluadas fueron de polietileno calibre 720, dos desarrolladas en CIQA y una Comercial de amplio uso en México:

1. **Película CIQA Pea:** Está formulada a base de polietileno, con característica de difusión de luz, con un calibre 720, desarrollada por el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y modificada con nanopartículas metálicas
2. **Película CIBA 2a:** Desarrollada a base de polietileno de baja densidad, con calibre 720, con aditivos bloqueadores de radiación UV y nanopartículas metálicas.
3. **Película Comercial:** Película con características: difusa, térmica, larga duración y antiviral.

Caracterización Inicial de las Películas. Para la caracterización óptica de las películas a evaluar, se colocaron las diferentes películas en microtúneles en el campo experimental del CIQA y se colocaron los diferentes sensores dentro de cada microtúnel y los de referencia en el exterior. Todos los sensores se conectaron a un data logger DL2 de Delta –T Device. Los datos de radiación total, fotosintéticamente activa (PAR), difusa y ultravioleta (UV) fueron almacenados en el data logger cada hora, éstos fueron el promedio de seis mediciones en una hora.

Las mediciones almacenadas en el data logger fueron de 24 horas diarias; sin embargo, para la evaluación de las propiedades óptica se utilizaron solo datos de 12 horas, de las ocho de la mañana a las ocho de la noche que es el periodo del día en que existe radiación solar en esta época del año.

Para la caracterización inicial de las películas los datos que se reportan son el promedio de cinco días completamente soleados. Estas series de datos fueron

organizados en Excel, para realizar las curvas del comportamiento de la radiación dentro y fuera de los microtúneles.

3.7 Temperatura, Humedad Relativa y Déficit de Presión de Vapor (DVP)

Para la determinación de estos parámetros se utilizaron sensores tipo Hobo modelo U 23-001 fabricados por Onset, cuentan con una alta precisión y están equipados con una carcasa que permite su utilización en intemperie y entornos de alta condensación. Este sensor cuenta con un puerto USB óptico para transferir los datos del sensor a la computadora, las unidades de medición son en grados centígrados (°C) y humedad relativa (%). Además está provisto de una batería de litio de 3.6 volts que tiene una vida útil de tres años, los intervalos de tiempo para la toma de mediciones en éste caso fueron de 24 horas. Éste tipo de sensor fue colocado durante la evaluación del cultivo en invernadero para el monitoreo de estos parámetros.

El Déficit de Presión de Vapor (DPV), se calculó a partir de los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos por los sensores HOBO.

3.8 Almacenamiento de Datos

Para poder registrar todos los datos tomados por los sensores de UV, radiación difusa, radiación total y radiación fotosintética (PAR), se utilizó un data logger modelo DL-2 de la compañía Delta-T Device. Este aparato opera mediante impulsos eléctricos que manda a todos los sensores a la vez y recibe la lectura para almacenarla en su memoria, tiene sesenta canales disponibles por lo que es capaz de almacenar el mismo número de mediciones en una sola exhibición. La recuperación de los datos se realiza mediante una computadora conectada al data logger por medio del puerto serial, los datos fueron recuperados una vez por semana.

Por otro lado se estuvo determinando la radiación PAR recibida dentro de los invernaderos ya con el cultivo de pepino, y durante el tiempo que duró el desarrollo del cultivo. Para determinar la radiación PAR se utilizaron en cada invernadero y su

referencia exterior sensores Quantum LI-190SA, los cuales se conectaron a un data logger modelo LI-100 de la compañía LI-COR, Inc., que opera mediante impulsos eléctricos para registrar las lecturas de los sensores y almacenarlos en su memoria. Éste equipo cuenta con 10 canales para entradas de sensores y dos tipos BNC para conectar los sensores de radiación PAR. Los datos fueron recogidos cada 15 días, con una computadora conectada mediante un puerto serial al data logger.

3.9. Variables Del Cultivo Evaluadas

Se realizaron 7 muestreos de plantas para determinar el efecto de las propiedades ópticas de las películas de cubierta sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo. El primer muestreo fue a los 20 días después de la siembra (dds) y los siguientes muestreos cada 15 día durante el ciclo; se muestrearon cuatro repeticiones por tratamiento en cada muestreo. Las plantas de cada muestreo fueron retiradas del cuadro de diseño experimental, se anotó el tratamiento y el número de repetición, los muestreos fueron de tipo destructivo y se siguió el mismo procedimiento en cada uno de éstos:

Se hizo el corte de la planta desde la parte basal (junto al sustrato), se tomaron datos de altura, diámetro basal, número de hojas, número de flores, número de frutos y área foliar antes de la destrucción de la muestra (el área foliar se tomó mediante la utilización de un equipo integrador de área foliar marca Li-cor Biosciences modelo Li 300 Area meter). Se cortó y se separó en cada uno de los órganos vegetativos (tallos, hojas, flores y frutos), procediendo a secarse en una estufa de secado a 70 °C por 72 horas o más de acuerdo a la humedad presente, tomando después el peso seco de cada una.

3.10 Labores Culturales

Dentro de las labores culturales se llevaron a cabo una serie de actividades las cuales fueron:

Riego y Fertilización

Para un sistema eficiente se requiere de un sistema preciso de riego capaz de otorgar necesidades de agua y nutrientes a intervalos cortos y bajo volumen. Para el riego y fertilización de plantas se utilizó un programa de fertirriego, con la formulación Steiner, teniendo variaciones en las concentraciones de cada elemento nutritivo de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas del cultivo (crecimiento, floración, fructificación). La frecuencia y duración del volumen de riego por día depende del sustrato condiciones del cultivo y época del año. Los diferentes elementos nutritivos incluidos en la fórmula se encontraban en tanques con capacidad de 1,100 litros, separados por su composición química y compatibilidad; cambiándose cada vez que se terminaba, realizándose inicialmente a una concentración de 10 veces, seguida de una concentración a 50 veces y finalmente en la etapa del llenado de fruto concentrada 100 veces. El tiempo de fertirriego fue establecido en relación a los micromoles de radiación acumulados en las diferentes horas del día.

Control sanitario

El control contra plagas y enfermedades fue químico. Aplicándose diferentes productos de acción preventiva y curativa en las dosis recomendadas por superficie y por densidad.

- TECTO 60 (Tiabendazol). Producto preventivo para evitar el ataque fúngico a las plántulas, aplicado en la etapa inicial del crecimiento.
- PROMIL (Benomilo). Producto aplicado como preventivo para enfermedades fúngicas.
- GIRO 375CE (Fenpropatrin). Aplicado para el control de mosquita blanca y trips.
- TRIGARD (Ciromazina). Aplicado preventivamente para evitar la incidencia de minador de la hoja.
- RIDOMIL (Metaraxil, Clorotalonil). Producto de contacto, aplicado para evitar la incidencia de mildiú.
- BAYLETON (Triadimefon). Aplicado para curar y erradicar la cenicilla.

Tutorado

Es una práctica que se realiza con la finalidad de mantener a las plantas erguidas y evitar que las hojas y los frutos tengan contacto con el suelo, creando una aireación mayor y mayor captación de radiación solar, facilitando también las demás labores culturales (poda, cosecha, etc.) y el control sanitario.

Para dicho propósito se colocaron tres tubos de 2 metros en los extremos y centro de cada una de las hileras, fijos al piso y unidos en el extremo superior por cables galvanizados tensos y firmes. Ya teniendo un mayor crecimiento en las plantas se procedió a colgar ganchos especiales de tutorado en los cables, con hilo polipropileno (rafia) sujeto y enredado en el gancho para sujetar las plantas desde la base hasta el ápice de manera erguida verticalmente.

Cosecha

El corte de los frutos se hizo cuando estos presentaban tamaño y maduración comercial, con un total de 16 cortes a lo largo del ciclo del cultivo, se pesaban los frutos en cada repetición y tratamiento para posteriormente determinar el rendimiento por corte y total.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4 Comportamiento Óptico de las Películas Evaluadas Durante la Caracterización Inicial

4.1 Porcentaje de Transmisión, Difusión y Transparencia de las Cubiertas

Al realizar el análisis de porcentaje de transmisión de la radiación UV, Total, PAR y Difusa de las películas evaluadas (Cuadro 2), se pudo observar en general que las diferentes cubiertas tienen un efecto marcado en la reducción del porcentaje de la transmisión de las radiaciones antes mencionadas; sin embargo, la menor transmisión de la radiación UV se presentó en la cubierta Comercial con un 8.23%; además la cubierta transmitió el 76.2% de la radiación total respecto al exterior; y 79.7% de la radiación difusa PAR. Referente a la transmisión de la radiación PAR la cubierta CIBA 2a presenta la mayor transmisión con un 79.6% de esta radiación, comparado con el exterior (Cuadro 2). Las condiciones de radiación solar en invernadero son muy importantes desde el punto de vista productivo, no solo cuantitativamente sino también cualitativamente. Las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación (espectro de distribución o proporción de radiación difusa) afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogénicos (Baille, 1998) y sobre los insectos y microorganismos del invernadero.

Cuadro 2. Propiedades ópticas de las diferentes películas evaluadas, con respecto a la referencia exterior.

Película	Porcentaje de Trasmisión			Porcentaje de difusión de luz	Porcentaje de transparencia	
	Radiación UV (A y B)	Radiación Total	Radiación Fotosintética	Radiación Difusa (PAR)	Radiación Infrarrojo Cercano	Radiación Infrarrojo Lejano
CIBA 2a	37.19	82.6	79.6	50.4	62.84	46.51
CIQA PEa	42.6	83.5	74.8	53.5	52.27	45.65
Comercial	8.23	76.2	68.09	79.7	40.76	11.28
Exterior	100	100	100	18.6	100	100

De las películas evaluadas, la película Comercial presentó el mejor bloqueo de la Radiación infrarrojo cercano transmitiendo solo el 40.76% de la registrada en el exterior; y las cubiertas CIBA 2a y CIQA PEa presentaron menor bloqueo a éste tipo de radiación, dejando pasar el 62.84% y 52.27% respectivamente (Cuadro 2). Respecto a esto, Möller y colaboradores (2003), reportan que con la utilización de pigmentos de interferencia, para modificar la radiación NIR incidente, se evita el sobrecalentamiento en los invernaderos, siendo el papel de estos aditivos o pigmentos el de reflejar la radiación infrarroja cercana y evitar que llegue al interior del invernadero. El efecto que producen estos materiales fotoselectivos es positivo, reduciendo la temperatura interna, lo que ocurre es que al variar dentro del espectro la franja correspondiente a la radiación infrarrojo cercano (NIR), es inevitable afectar también la PAR, con lo cual se puede perjudicar el desarrollo de las plantas si se reduce demasiado la transmisión del PAR.

Las películas de formulación CIBA 2a y CIQA PEa presentaron porcentajes de transmisión de radiación infrarroja lejana muy similares (Cuadro 2); sin embargo la cubierta Comercial presentó el mejor comportamiento en esta longitud de onda transmitiendo solo el 11.28% de éste tipo de radiación comparado con el exterior. Con respecto a lo anterior Ferratto y Panelo, (2003), mencionan que durante la noche, desde el invernadero se emite radiación infrarroja de onda larga procedente del suelo, de las plantas y de la estructura. El material de cubierta mientras más opaco sea a la radiación de onda larga, menor será la pérdida por radiación emitida a la atmósfera exterior, incrementando la termicidad de la cubierta dentro del invernadero.

4.1.1. Transmisión de la Radiación Ultravioleta (UV)

La radiación UV tiene un efecto importante en la fotodegradación de los plásticos agrícolas, y la ausencia de UV en un ambiente afecta la incidencia de insectos vectores de virosis, por lo que es importante que las películas presenten un buen bloqueo a esta radiación. Al realizar el análisis del comportamiento de esta radiación durante la caracterización inicial en el periodo primavera-verano se pudo observar que en general todas las películas presentaron un porcentaje de bloqueo; sin embargo, la

película Comercial es la que mostro una mayor capacidad de bloqueo al transmitir el 4.5% ($7.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), en la hora de mayor intensidad. Otras películas como la CIBA 2a y la CIQA PEa bloquean alrededor del 45% de la radiación UV en el periodo con máxima intensidad (Figura 3). Gazquez, y colaboradores (2002), encontraron al comparar películas anti-insectos con una película convencional que al disminuir la trasmisión de la radiación UV por debajo del 20%, también disminuía la incidencia de insectos vectores; sin embargo esto afecta a los insectos polinizadores por lo que es recomendable aumentar la cantidad de insectos polinizadores al utilizar plásticos anti-insectos.

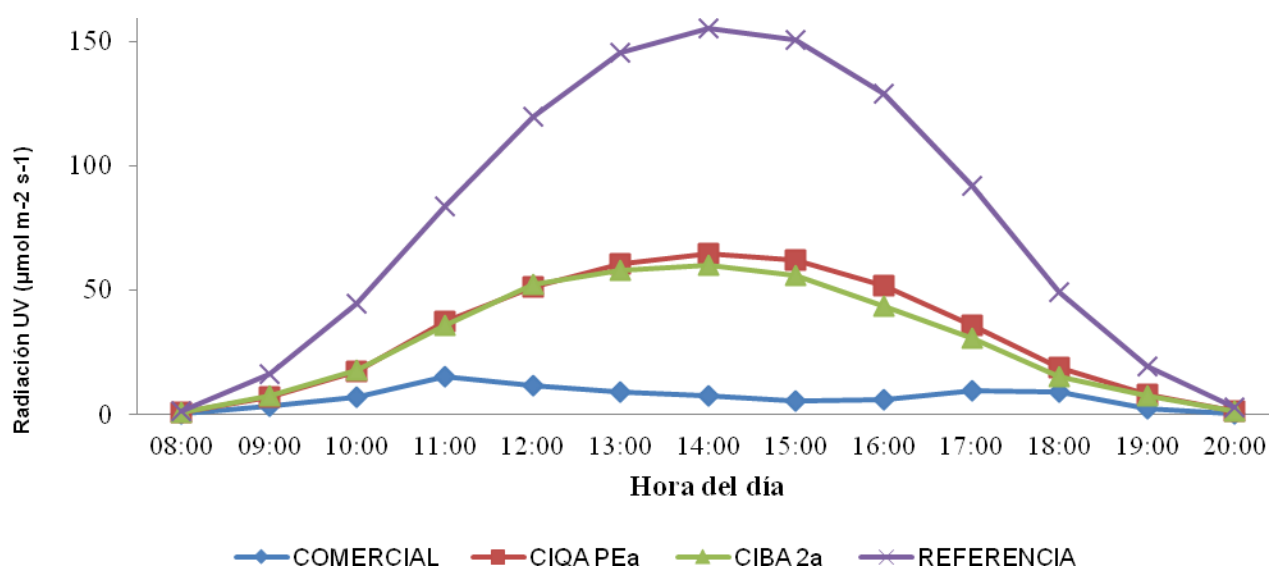


Figura 3. Comportamiento de la radiación UV al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.

4.1.2. Transmisión de la Radiación Total

Todas las películas durante éste periodo de evaluación disminuyeron la transmisión de la radiación total respecto a la radiación del exterior; sin embargo, la cubiertas CIQA Pea y CIBA 2^a en el periodo de máxima radiación entre las 13:00 y las 15:00 horas mostraron una mayor transmisión de esta radiación en comparación a la película Comercial (Figura 4). La cantidad de radiación en watts de las diferentes películas con respecto al exterior fue de 79% para la película comercial, 85% para la película Pea y 87% para la película CIBA 2^a

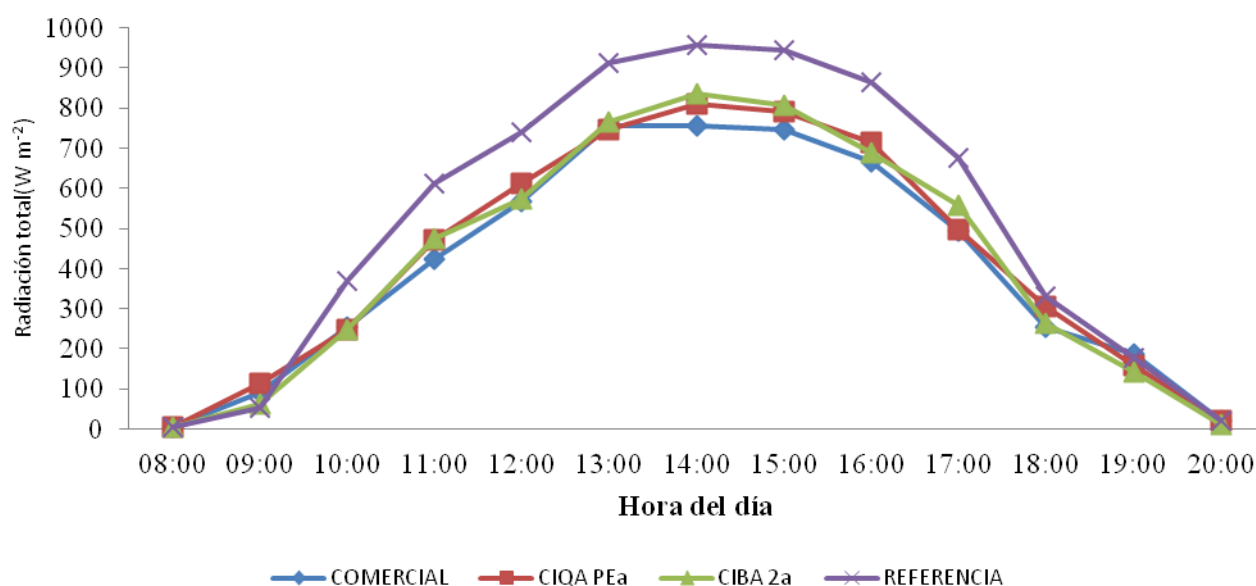


Figura 4. Comportamiento de la radiación total al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.

4.1.3. Transmisión de la Radiación Fotosintéticamente Activa

Durante la caracterización inicial los valores máximos alcanzadas de radiación fotosintéticamente activa se encontraron alrededor de los $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ considerando días totalmente soleados (Figura 5) La cubierta con menor bloqueo de radiación PAR resulto ser la Comercial, dejando pasar alrededor del 70% de la PAR, con respecto a la máxima radiación recibida en el exterior, mientras que las películas CIBA 2a y CIQA PEa mostraron mayor trasmisión de PAR que la Comercial, los valores de trasmisión para CIBA 2a y CIQA PEa se mantuvieron entre los $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ y los $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (entre el 80% y 85% de trasmisión respectivamente). Es importante tener suficiente cantidad de radiación PAR por lo que se busca captar buena cantidad de luz visible para que las plantas tengan la suficiente energía para realizar el proceso de fotosíntesis. Iglesias y Muñoz (2007), mencionan que altos valores de radiación PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales nuevos incrementos no se traducen en aumentos de la tasa fotosintética de las plantas, y que se pueden lograr incrementos del 1% en la tasa fotosintética al incrementar en 1% la trasmisión de la radiación PAR.

Por otro lado excesos de radiación PAR pueden causar un estrés en el cultivo (como se puede observar en la película CIBA 2ª) causado por un incremento en la temperatura que tiene efecto importante en el déficit de presión de vapor que afecta posteriormente el desarrollo del cultivo y en determinado momento en combinación con alta temperatura la fotosíntesis se puede cambiar a fotorespiración con el subsecuente gasto de energía en vez de acumulación en biomasa.

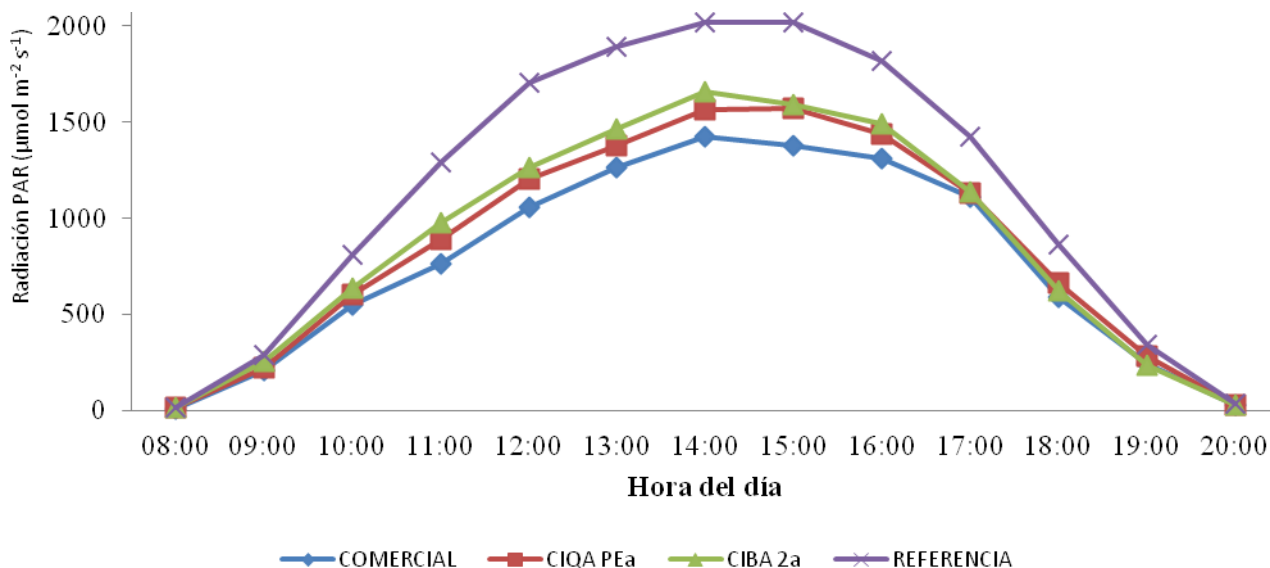


Figura 5. Comportamiento de la radiación PAR al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.

4.1.4. Capacidad de las Películas para Difundir las Radiación PAR Difusa

Todas las formulaciones evaluadas mostraron un efecto difusor de la radiación PAR. La radiación difusa dentro de los microtúneles se encontró por encima de la captado, en el exterior (Figura 6). Sin embargo, podemos observar que existen diferencias marcadas entre películas, las películas CIQA PEa y CIBA 2a son las que presentaron los valores más bajas en cuanto a trasmisión de radiación PAR en forma difusa, con $796 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ y $814 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ respectivamente. En cuanto a la película Comercial presentó mayor trasmisión de radiación en forma difusa con valores por encima de los $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ en el periodo de máxima exposición a la radiación solar. Papasseit (2009), reporta que al aumentar la difusión de la radiación PAR en

invernaderos se puede incrementar tanto la calidad como la cantidad de la producción en la mayoría de los cultivos.

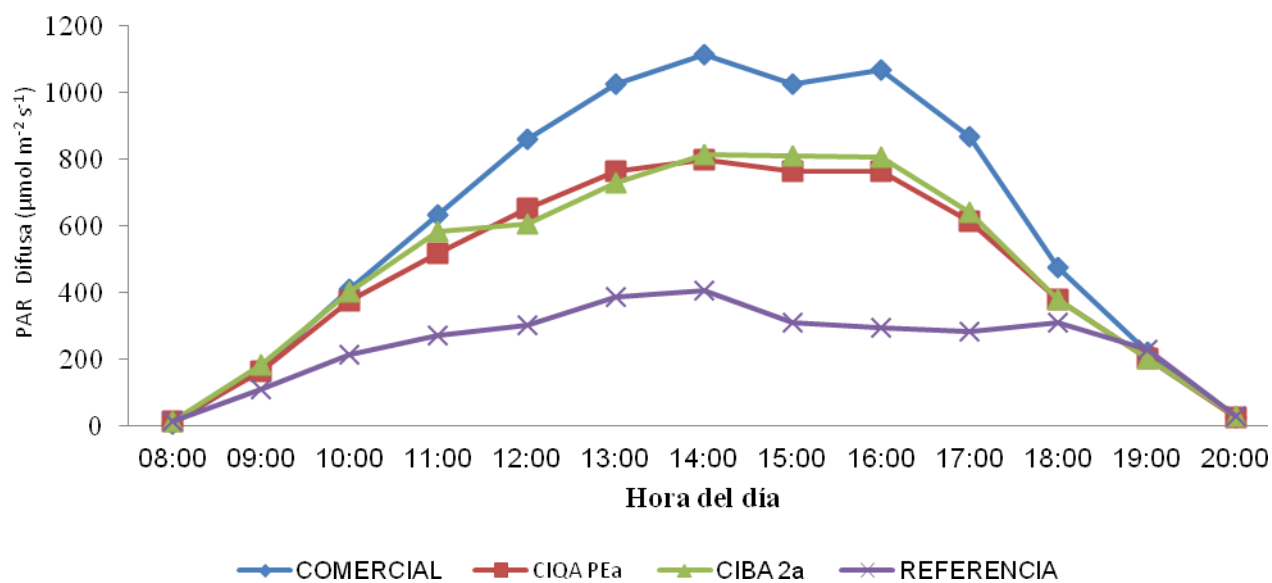


Figura 6. Capacidad de diferentes películas para difundir la radiación PAR al interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones.

4.2 Evaluación de Radiación Fotosintética, Temperatura, Humedad Relativa y Déficit de Presión de Vapor Durante el Desarrollo del Cultivo

Durante todo el desarrollo del cultivo se monitoreó la radiación fotosintéticamente activa dentro de los invernaderos durante las 12 horas del día de luz y su efecto sobre la temperatura del ambiente y la humedad relativa.

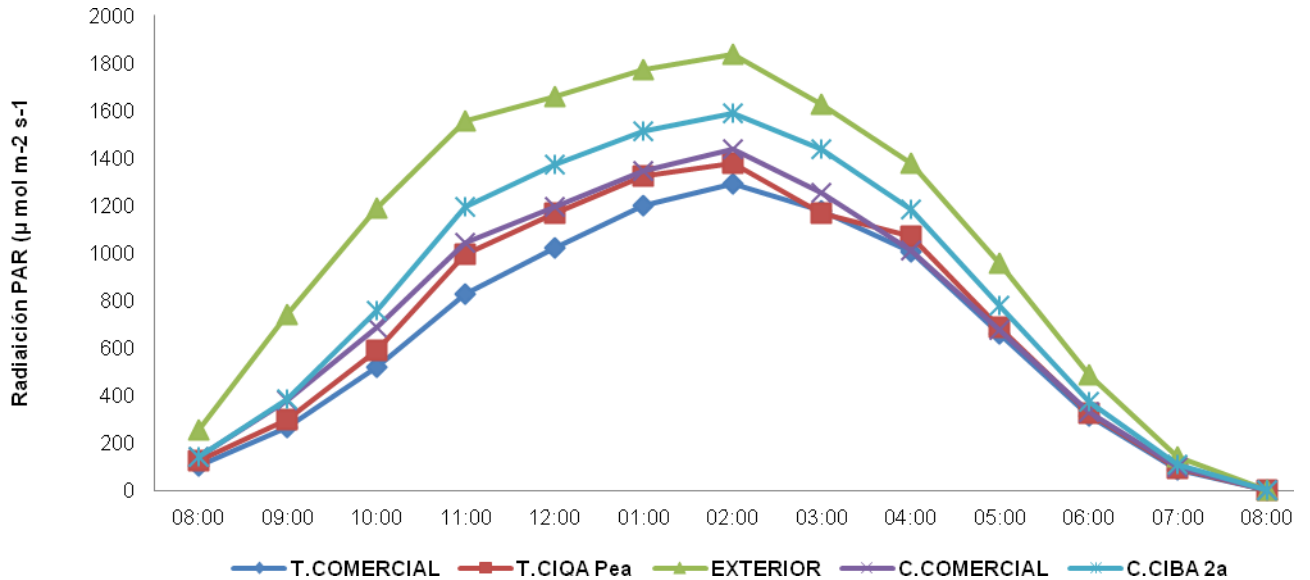


Figura 7. Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20- 42 DDS.

Al inicio del cultivo (20-42 d.d.s.) ya en los invernaderos las distintas películas que se evaluaron presentaron diferentes porcentajes de bloqueo a la radiación PAR (Figura 7), Se puede observar que el invernadero tipo túnel con película de CIQA PEa e invernadero capilla Comercial ambos presentaron comportamiento similar, la cubierta CIQA PEa en el invernadero tipo túnel permitió una trasmisión del 75% de la radiación, mientras que para el caso de la película Comercial en el invernadero tipo capilla se transmitió un 74% de la radiación PAR. También se observa que en el invernadero tipo túnel con la película Comercial presentó el mayor bloqueo a la radiación PAR, dejando pasar solo el 67% mientras que en el invernadero tipo capilla con la misma cubierta Comercial transmitió el 74% de la radiación, siendo que las películas comerciales poseen las mismas propiedades, pero colocadas en diferentes tipos de estructuras por lo que se observa que la forma del techo del invernadero influye en la cantidad de radiación que se trasmite al interior.

Por otro lado en el invernadero tipo capilla con película de CIBA 2ª se presentó el menor bloqueo a la radiación PAR, transmitiendo un 77% de la radiación con respecto al exterior. Esta mayor trasmisión de radiación en el invernadero tipo capilla con cubierta CIBA 2a no favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas y esto es debido a que hay un exceso de radiación solar que esto se ve reflejado en el aumento

de la temperatura que se localiza en el interior de los invernaderos (Figura 8), que genera un mayor déficit de presión de vapor (Figura 10) pasando a afectar al cultivo en el desarrollo vegetativo.

En investigaciones anteriores Baille (1998), menciona que las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar la calidad de la radiación (espectro de distribución o la proporción de la radiación difusa); de esta manera se afectan a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación.

Como se sabe los factores climáticos, mas importantes que deben de considerarse principalmente son la radiación, temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor. En conjunto estos factores son los que influyen en cuanto a la germinación, desarrollo vegetativo, floración y fructificación. Un mal manejo de todo estos factores dentro de un invernadero verá afectado el cultivo ya que cada cultivo tiene sus diferentes requerimientos climáticos en todo su ciclo fenológico.

Castilla (2007) menciona que entre las limitaciones más importantes para la producción de hortalizas la mayor parte son factores climáticos, que pueden alterarse mediante el cultivo protegido.

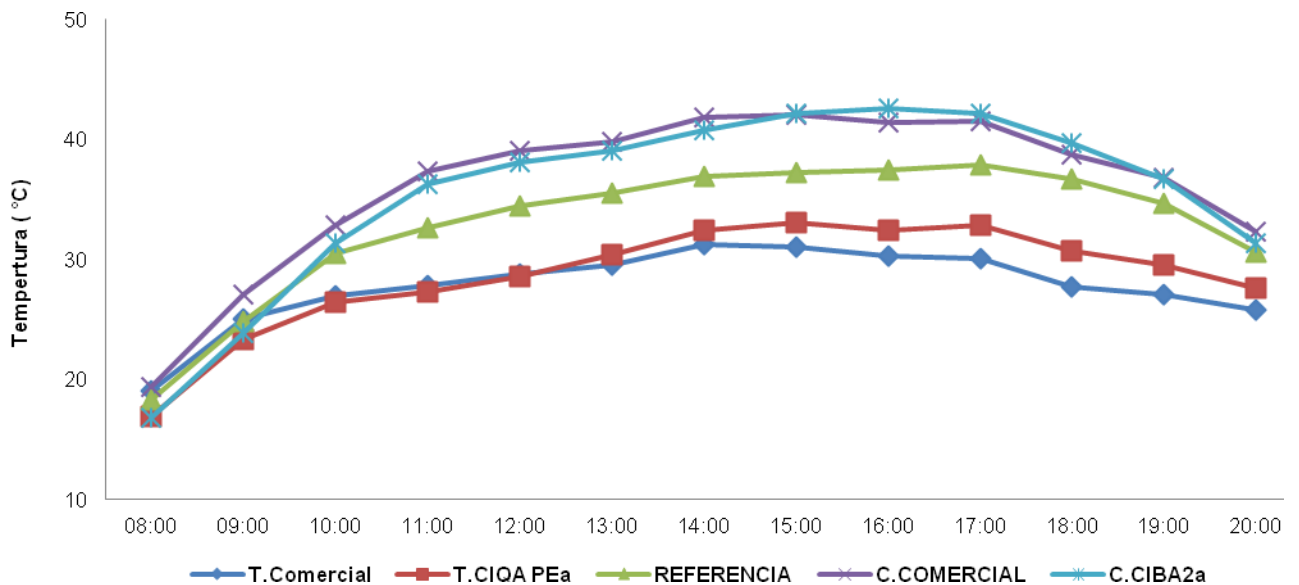


Figura 8. Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20 – 42 DDS.

En cuanto a la temperatura, se puede observar (figura 8) que los invernaderos capilla en comparación con los túneles son los que tienen una mayor temperatura, alcanzando los 42°C con respecto a lo registrado en el exterior 35 °c en la de hora máxima radiación.

Los invernaderos tipo túnel con cubiertas CIQA PEa y Comercial en las primeras horas de la mañana presentan un comportamiento similar y en las últimas horas de la tarde existe una diferencia mínima de temperatura, esta baja temperatura que existe se debe a la utilización de un sistema de ventilación forzada; la cual el cultivo se vio favorecida en cuanto a la germinación y un buen desarrollo vegetativo la cual esto es muy importante para la fotosíntesis y de esta forma dicho cultivo pueda formar nuevos fotosintatos para sus diferentes órganos de demanda.

En el caso de los invernaderos tipo capilla, son los que presentaron las temperaturas más altas 40°C- 42°C con respecto al exterior que va de los 30°C – 35°C en la hora máxima de radiación solar. La temperatura fue mucho mayor en los invernaderos tipo capilla debido al tipo de ventilación pasivo en comparación con los invernadero tipo túnel que tenían un sistema de enfriamiento.

La gran diferencia de temperatura que existe entre los dos tipos de invernadero es debida a los dos tipos de sistemas de ventilación utilizados, pero también esto se pudo dar debido a las diferentes cantidades de radiación que las películas permitieron que pasara al interior de cada invernadero.

En investigaciones anteriores Alpin y Tognoni 1999 menciona que en relación con la temperatura de la atmosfera de un invernadero, las radiaciones más importantes son las infrarrojas cortas que pasan a través de las películas, y son las causas del calentamiento excesivo en un invernadero.

Las radiaciones infrarrojas cortas son absorbidas en el día por las plantas, suelo y materiales que se encuentran dentro del invernadero, este tipo de radiación en la noche son liberados en forma de radiación infrarrojo lejano que son las que calientan el invernadero. Una película entre mayor bloqueo tenga a este tipo de radiación es considerada mas térmica, y por lo tanto se mantiene mayor temperatura durante la noche en el invernadero, para que los cultivos no se vean afectados por las bajas temperaturas nocturnas.

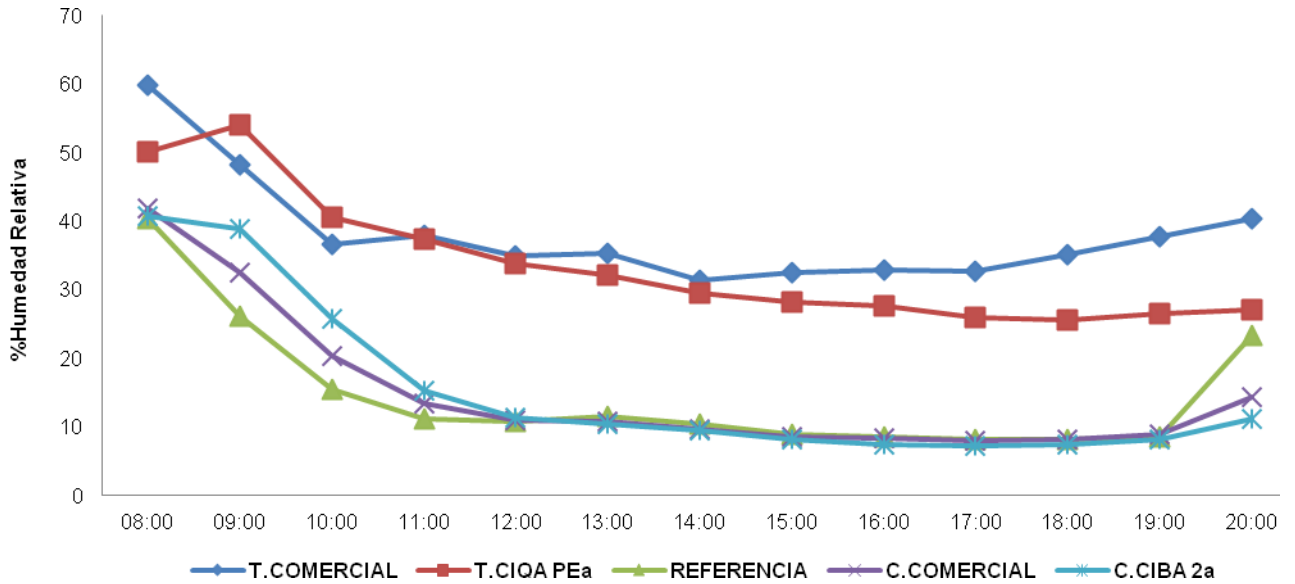


Figura 9. Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 20 – 42 DDS.

En Cuanto a la humedad relativa, se observa en la Figura 9 que el comportamiento de la humedad relativa en la primera hora de la mañana es más alto con valores que van desde 40% a 60%, pero en las horas de mayor calor del día tiende a disminuir. Conforme avanza la hora del día en los invernaderos tipo túnel con película CIQA PEa y comercial, se puede ver claramente que presentan un porcentaje de humedad relativa por encima de los 25% (Fig. 9) mientras que en los invernaderos tipo capilla que tenían temperaturas mayores los porcentajes de HR son menores de 10%. Los dos invernaderos con menor HR tenían ventilación pasiva por lo que no había aporte de humedad. Por el contrario en los invernaderos tipo túnel en este período estaba funcionando un sistema de enfriamiento de panel húmedo, por lo que esto ayudaba en estos invernaderos a que se incrementara mas la HR. Estas condiciones microclimaticas que se crean dentro de los invernaderos, influye directamente en el desarrollo vegetativo durante el ciclo del cultivo.

Investigaciones realizado por Vasco (2003), menciona que el cultivo de pepino la necesidad de la humedad relativa en cuanto a este cultivo son muy exigentes durante el ciclo vegetativo. En invernadero tipo parral, los valores medios de humedad relativa del aire en ciclo otoño-invierno, se encuentran en un 70%. La humedad relativa junto

con la temperatura del aire están estrechamente ligadas.

Huerta (2008) en uno de sus investigaciones realizado menciona que en el cultivo de tomate, se observa la presencia de problemas como el desarrollo anormal del color del fruto y aparición de manchas asociados con una baja polinización por causa de la baja humedad relativa, afectando de este modo la vía de la polinización; en diversos cultivos se puede presentar el aborto de flores.

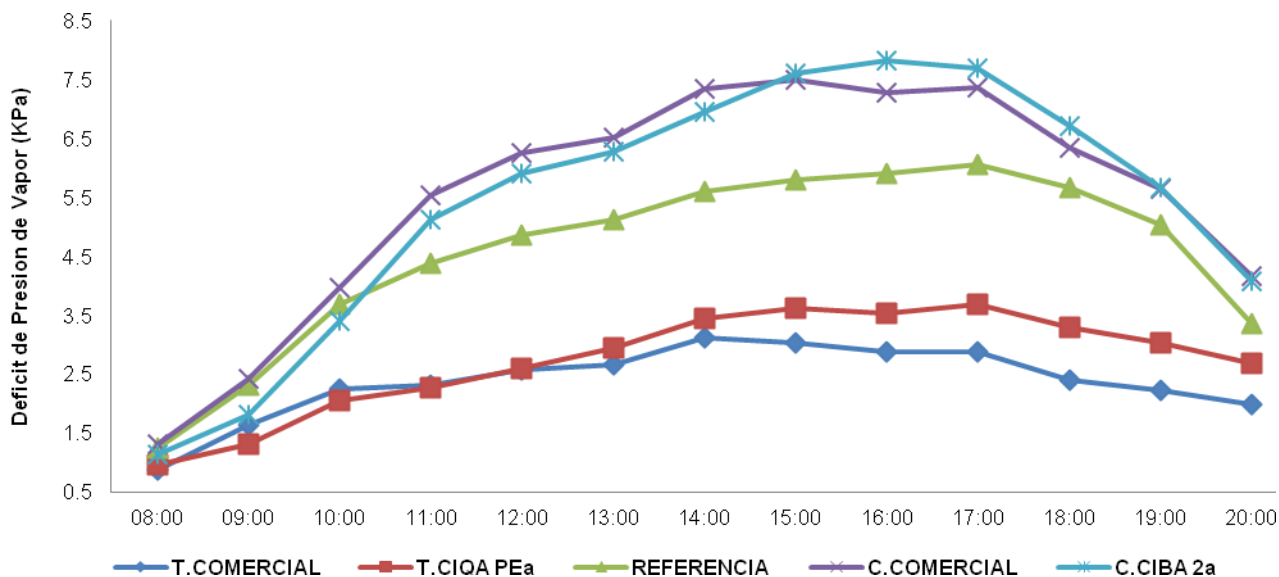


Figura 10. Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 20 – 42 DDS.

Con lo que respecta al déficit de presión de vapor se puede ver en la figura 10 que el comportamiento de las graficas son diferentes en los invernaderos tipo túnel comparado con los invernadero capilla.

Los invernaderos tipo túnel CIQA PEa y comercial son los que presentaron los valores mas bajos de déficit de presión de vapor (DVP) (2- 3.7 kPa), en comparación con los valores que se registraron en el exterior y en los invernaderos tipo capilla. Los valores mas bajos de DPV en los invernaderos tipo túnel concuerdas con los valores mas bajos de temperatura (figura 8) y los mas altos en humedad relativa (figura 9) y por el contrario en los invernaderos tipo capilla los valores mas altos de DPV (5.9-7.8 kPa) se correlacionan con los valores altos de temperatura y mas bajos de HR. Estos valores de déficit de presión de vapor juntos con los demás factores ya mencionados

crean condiciones de microclima que impactan de manera importante en el desarrollo y productividad de los cultivos. Finalmente valores altos de DVP (mayores de 5 kPa) afectan negativamente al cultivo, por lo que hay que tratar de modular la temperatura y humedad relativa en los invernaderos para que el DVP se mantenga en valores bajos y los cultivos no sufran estrés que disminuya su productividad.

En un investigación realizado por Muñoz et al., (2005), en cultivo de pimiento se determino que un DPV bajo permite alcanzar buenos valores de producción total y que la calidad de frutos se puede ver afectada al aumentar el DVP, generando fisiopatía como la pudrición apical. Por otra parte Sánchez (2007) menciona que el cultivo de vid se ve desfavorecido con una baja DVP; las plantas reducen considerablemente la tasa fotosintética debido al cierre de los estomas. Arbel et al., (2000) menciona que unos de los mayores problemas para la agricultura protegida en climas cálidos, es la reducción de la temperatura en el interior de los invernaderos. Es por ello que la utilización de una estructura cubierta de malla tejida que tiende a disminuir la radiación incidente, reduce la incidencia del viento y de este modo se pueda aumentar la humedad relativa del aire. Además existen equipos activos que pueden ayudar en el control de estos factores; entre los cuales se encuentran el sistema activo de refrigeración mediante nebulización de baja presión, que permite en condiciones de baja humedad ambiental disminuir los valores de temperatura y disminuir el déficit de presión de vapor.

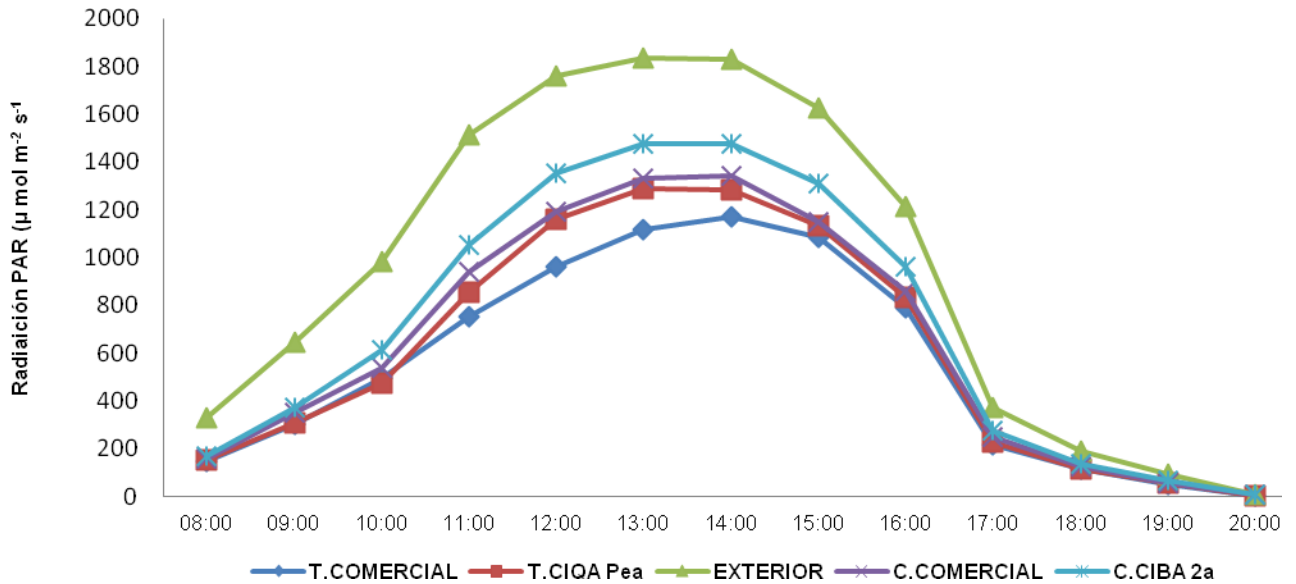


Figura 11. Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.

El análisis de la radiación incidente dentro de los invernaderos de los 42 a los 64 días después de siembra muestra que, todos los tratamientos presentaron disminución de transmisión de la radiación PAR, (figura 11), con respecto a la transmisión en el período de 20 a 42 d.d.s. (Fig 9). La película Comercial del invernadero tipo túnel presentó una transmisión del 58% de la radiación con respecto a la registrada en el exterior en las horas con mayor intensidad, pero también se puede ver claramente como la película túnel comercial va perdiendo sus propiedades ópticas conforme pasa los días ya que en el período anterior tenía una transmisión de 67% , por lo que disminuyó un 9% de transmisión de PAR. Esta pérdida de propiedad se puede mencionar que es debido a que en la parte exterior de la película se acumula polvo, por lo tanto la radiación no se trasmite de la misma forma que en los primero días que se colocó la película. Por lo tanto estos valores que se registran favorecieron de alguna manera importante en el cultivo.

Pero estos resultados registrados se puede decir que presentaron en el invernadero con cubierta de CIQA PEa que transmitió el 65% de la radiación PAR y también con el paso de los días la película CIQA PEa perdió su propiedad de transmisión como se puede ver en la (figura 7).

El invernadero capilla con película comercial transmitió el 67%, de radiación PAR, pero

de igual manera perdió sus propiedades de transmisión en comparación de los porcentajes registrados en la figura (7). Esta pérdida de propiedad se debió a algunos factores ambientales, como la acumulación de polvos que son depositados en la parte exterior por efecto del arrastre del viento o la intensidad de la radiación que llega sobre la película y la deteriora, por lo tanto de esta manera las películas pierden su propiedad óptica.

Y donde se registro un mayor porcentaje de transmisión de radiación PAR fue en el invernadero capilla con película CIBA 2a con el 75% en la hora de máxima exposición a la radiación solar, pero junto con los demás factores climáticos como alta radiación y altas temperaturas registradas generaron a su vez un mayor DPV, afectando negativamente el desarrollo del cultivo en cuanto al crecimiento y la cual esto se verá reflejado en el rendimiento.

En una investigación realizado por Díaz (2000) menciona que al comparar películas plásticas para invernadero que para lograr maximización de la productividad del cultivo en cuanto a rendimiento, dentro de los invernaderos el porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa debe llegar la cantidad máxima posible en los cultivo.

Entonces la función de las películas para invernadero es impedir que llegue la radiación directa sobre los cultivos actuando como una barrera de bloqueo, la cual impedirá las quemaduras en las hojas y esto se verá reflejada en rendimiento y frutos uniformes.

Por lo tanto lo que menciona Díaz (2000) no sea tan necesariamente cierto, como se sabe que las plantas si necesitan la radiación PAR por es necesario que la radiación fotosintéticamente activa llegue al interior del invernadero para que las plantas la puedan aprovechar, pero esta radiación en exceso puede ser perjudicial para el cultivo, ya que un porcentaje alto de PAR, desencadena una descompensación del microclima que se crea dentro del invernadero ya que influye directamente en el incremento de la temperatura máxima letal, provocando menor humedad relativa y mayor déficit de presión de vapor(DVP), pasando afectar al cultivo en sus procesos de actividad fotosintética, siendo menos eficiente lo que se ve reflejado en la producción de frutos, pero no así para el desarrollo de plagas y enfermedades la cual se crea un

ambiente más favorable, como en el caso de la araña roja. Esto pasa afectar el cultivo, principalmente en las hojas donde se lleva a cabo la mayor parte de la actividad fotosintética y produciendo fotosintatos para sus demás órganos.

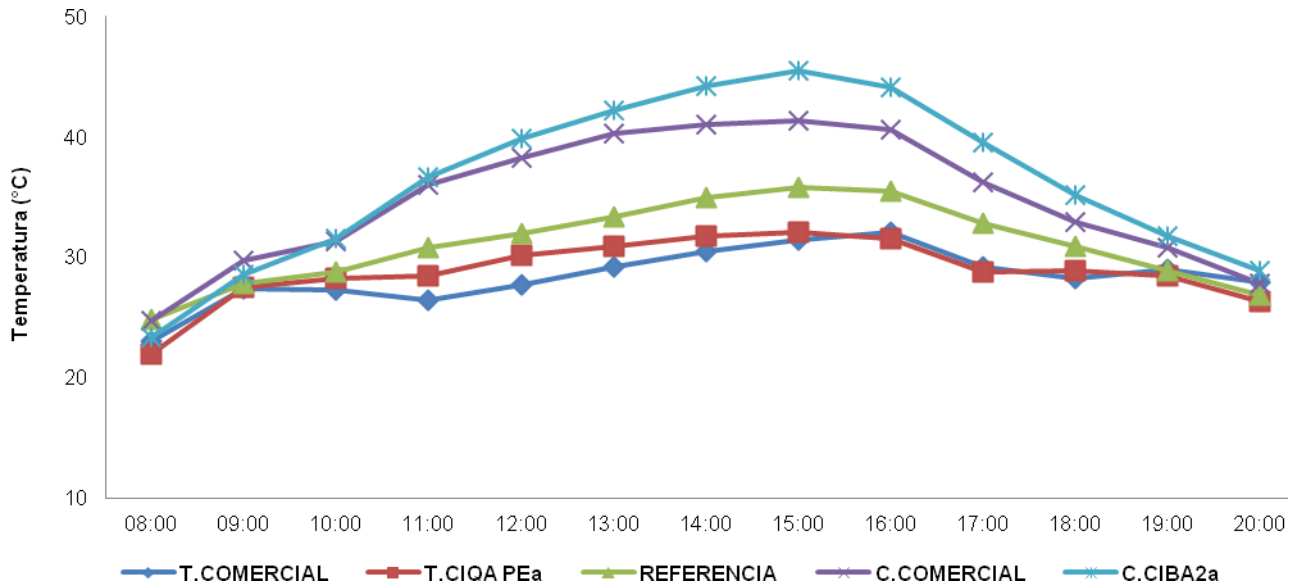


Figura 12. Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.

Se puede ver que en la figura 12, el comportamiento de la temperatura en el periodo de los 42-64 DDS es diferente entre el invernadero tipo túnel y capilla. En el tipo capilla se registró más alta temperatura en comparación al control y en el caso de túnel se registró una menor temperatura en relación al exterior.

Se puede observar en la gráfica que los invernaderos tipo túnel con cubierta CIQA PEa y comercial presentaron temperaturas entre los 30 a 32°C, temperaturas que fueron menores a lo registrado en el exterior (34°C), en la hora máxima de intensidad de radiación solar. Estas temperaturas influyeron directamente sobre el desarrollo del cultivo.

Tognoni (2000) menciona que la temperatura afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gastos de carbohidratos y reguladores del crecimiento.

Y en los invernadero capilla comercial y CIBA 2a se registraron valores mayores presentando temperaturas de 44 y 45°C en comparación a lo encontrado en el

exterior en donde se registro una menor temperatura de 33 y 35°C. Estas altas temperaturas registradas en el invernadero tipo capilla con cubierta CIBA 2a, el cultivo de pepino se vio afectado en el desarrollo y como se ha venido describiendo el exceso de radiación y temperatura influyen en el aumento de DPV y por lo tanto el microclima que se crea dentro del invernadero no es el adecuado para el cultivo de pepino ya que afectar principalmente las hojas aumentando su espesor y disminuyendo el área foliar, lo que representa un menor acumulación de biomasa total, menor floración y menor rendimiento de fruto.

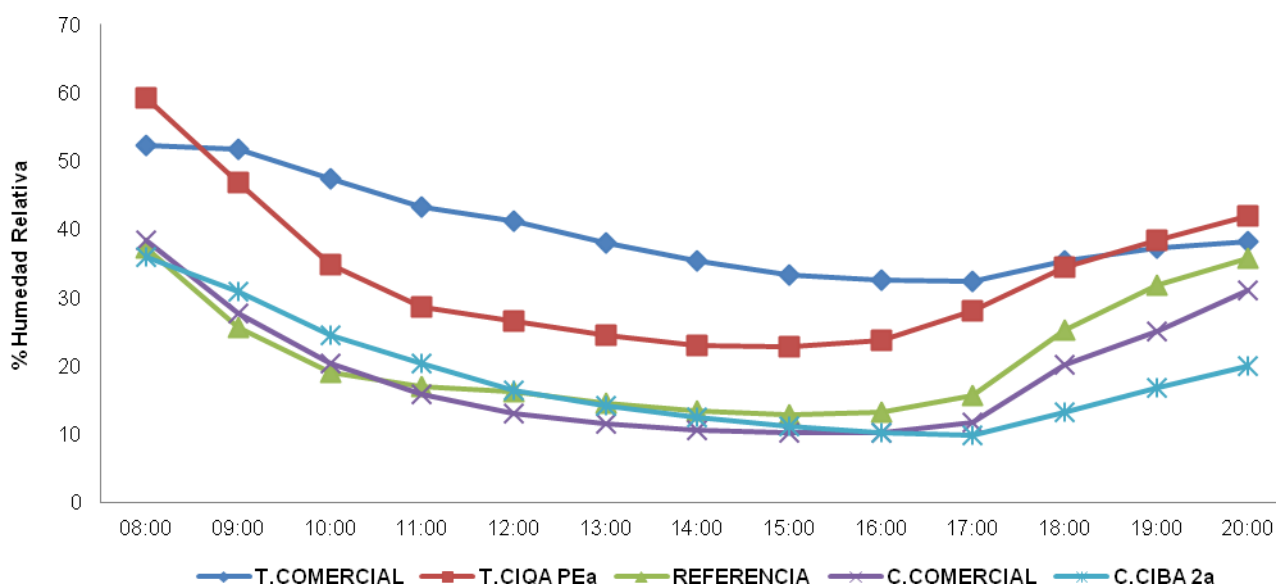


Figura 13. Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 42-64 DDS.

En cuanto a la humedad relativa que se registró en los invernaderos tipo túnel con película comercial y CIQA PEa esta fue superior, alcanzando porcentajes por encima de los 40% y 60% en las primeras horas de la mañana y conforme avanza el día se puede observar que en la grafica empieza a decrecer hasta llegar en un punto donde se registra un 25% y 35%. Esto se debe a que la temperatura, conforme empieza a incrementar así también el porcentaje de humedad relativa decrece.

Mientras que para el caso de los invernadero capilla comercial y CIBA 2a registraron

una humedad relativa muy bajo llegando a tener un porcentaje que va de los 20% hasta llegar a alcanzar un 10% muy similar a lo registrado en el exterior. Esto es debido a la alta radiación y temperatura, causando un alto déficit de presión de vapor (DVP). Estos factores en conjunto crean un microclima desfavorable para el cultivo de pepino, como ocurrió en el invernadero capilla con la película CIBA 2a en donde existió un deficiente desarrollo vegetativo y una menor producción.

En investigación realizado por Caldari (2007), reporta que el cultivo de pepino es una planta con alta demanda de humedad, debido a su gran superficie foliar, en donde la humedad relativa optima durante las horas diurnas es de 60% a 70% y durante las horas nocturnas va de los 70% -90%. Pero la humedad relativa en exceso durante el día puede reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la actividad fotosintética no ocurra de manera adecuada.

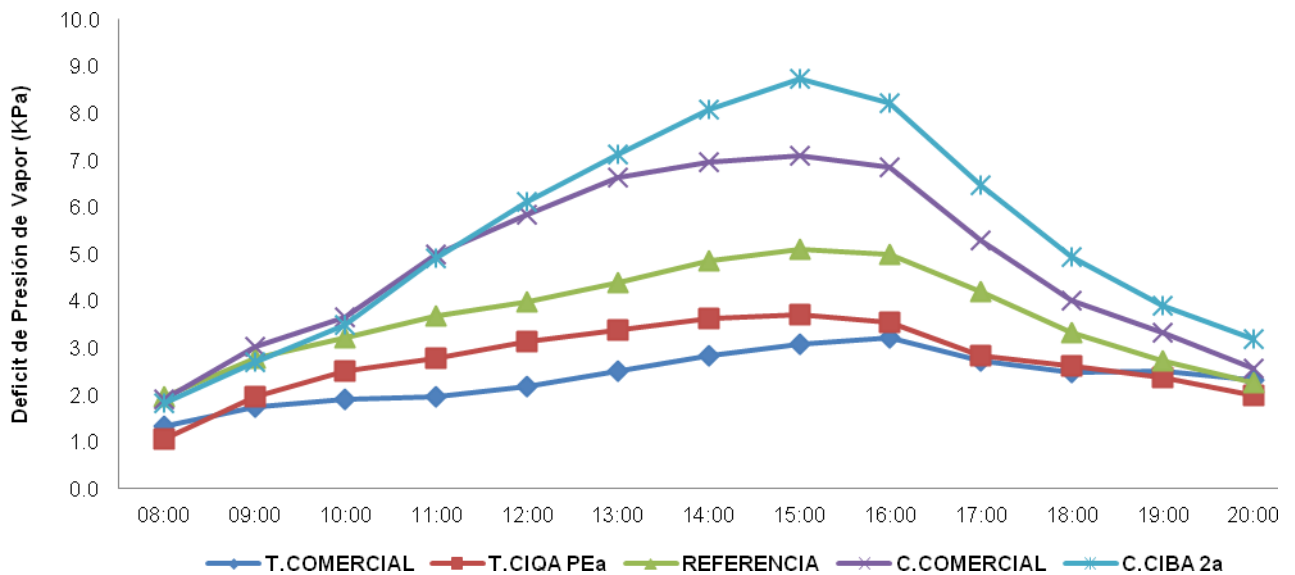


Figura 14. Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 42-64 DDS.

Como se observa en la figura 14, el comportamiento del DPV dentro de los invernaderos conforme la temperatura aumenta influenciada por la radiación solar, impacta los valores del déficit de presión de vapor, que afectan negativamente al desarrollo del cultivo y consecuentemente al rendimiento.

En el invernadero con estructura tipo túnel se puede ver que son los que registraron

un menor DPV, que va de los (2 a 3.4 kPa aproximadamente) en comparación a lo registrado en el exterior.

Mientras que los invernadero capilla comercial y CIBA 2a son lo que presentaron un mayor déficit de presión de vapor localizándose por encima de lo registrado en el exterior llegando a los 7 kPa, hasta un máximo de 9kPa como se puede ver claramente en el invernadero con película CIBA 2a en donde hubo mayor problema para el cultivo hasta llegar a ser atacado por plagas como araña roja y una deficiente actividad de fotosintética.

Y por lo tanto se puede ver que la estructura de estos dos tipos de invernadero y el apoyo de sistemas de enfriamiento también influyen mucho en cuanto a la creación de los microclimas que esto puede favorecer el cultivo que se encuentra en ella pero también así puede verse afectado el cultivo.

Esto concuerda con resultados reportados por Mangan (2007) al comprar dos estructuras de invernaderos con cubiertas plásticas y cristal, encontró que al principio del cultivo de tomate se llegaron a registrar valores de DPV diarios en el invernadero tipo venlo (2.5 y 5 kPa) en comparación a lo registrado en el invernadero multitunnel (1.5 y 3 kPa).

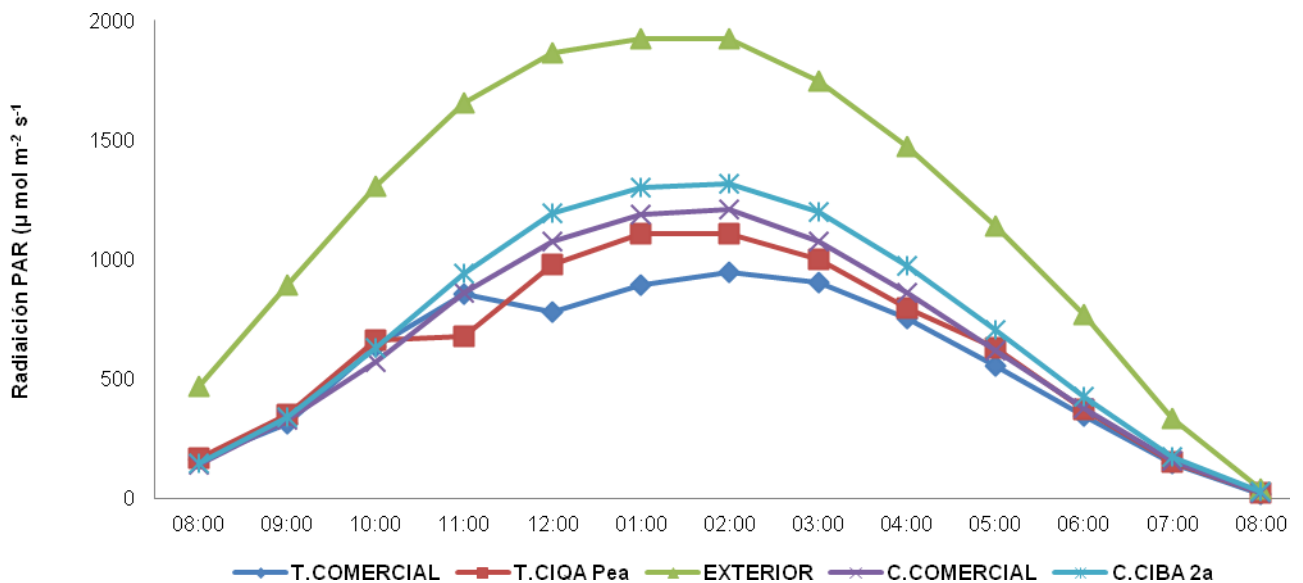


Figura 15. Comportamiento de la radiación PAR en los invernaderos con diferentes

tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.

Como se viene mencionando los primeros datos registrados durante la investigación en cada tratamiento presentaron un bloqueo inicial a la radiación PAR y al paso del tiempo hubo una disminución en la trasmisión de la PAR. En la figura 15 se puede observar que entre los 64 y 85 d.d.s. el tratamiento que presentó un mayor bloqueo a la radiación fotosintéticamente activa fue la película Comercial en el invernadero tipo túnel, la cual transmitió solamente entre el 50% y 49%, 17% menos de trasmisión que al inicio del cultivo. El invernadero tipo túnel con película CIQA PEa , dejó pasar el 59% de la radiación (PAR) en la hora máxima de exposición, 16 % menos que al inicio. Con lo que respecta del invernadero tipo capilla comercial este permitió que pasara en el interior un 63% de la radiación fotosintéticamente activa, 11 % menos que al inicio, mientras que la película que presento un menor bloqueo a la radiación fue la CIBA 2a en el invernadero tipo capilla, que dejó pasar un 70% de la radiación PAR a la hora máxima intensidad de la radiación solar, solo un 7% menos que al inicio del cultivo, siendo está la película que menos pérdida de trasmisión a la PAR tuvo durante el ciclo del cultivo. Y como se sabe a mayor intensidad de radiación solar las hojas son más pequeñas, más gruesas, menos clorofila, menos grana, más rubisco y un mayor peso específico, los fotosintatos se reparten más a hojas y tallos que en el órgano de interés como flores y frutos.

Esto concuerda con Valladares & Brittes (2004), quienes mencionan que la distribución espacial foliar determina dos parámetros muy importantes en la absorción de luz.

El área foliar proyectada es la fracción del área que resulta de proyectar la hoja hacia la fuente de la luz teniendo así en cuenta el ángulo y la orientación de la misma y el área foliar expuesta es el área proyectada total menos el área autosombreada por el follaje.

Con una misma área foliar total y mediante las distintas combinaciones posibles entre una serie de parámetros sencillos como la disposición de las hojas en el tallo, la distancia entre nudos sucesivos, el ángulo foliar y el tamaño de las hojas, se puede conseguir un abanico muy amplio de eficiencia en las absorción de luz y por lo tanto puede influir sobre la tasa de crecimiento en la producción y renovación de las hojas.

El área foliar es la parte mas importante para la captura de luz para poderse llevar a cabo la fotosíntesis la cual esto influye de manera muy significativa en la producción de biomasa.

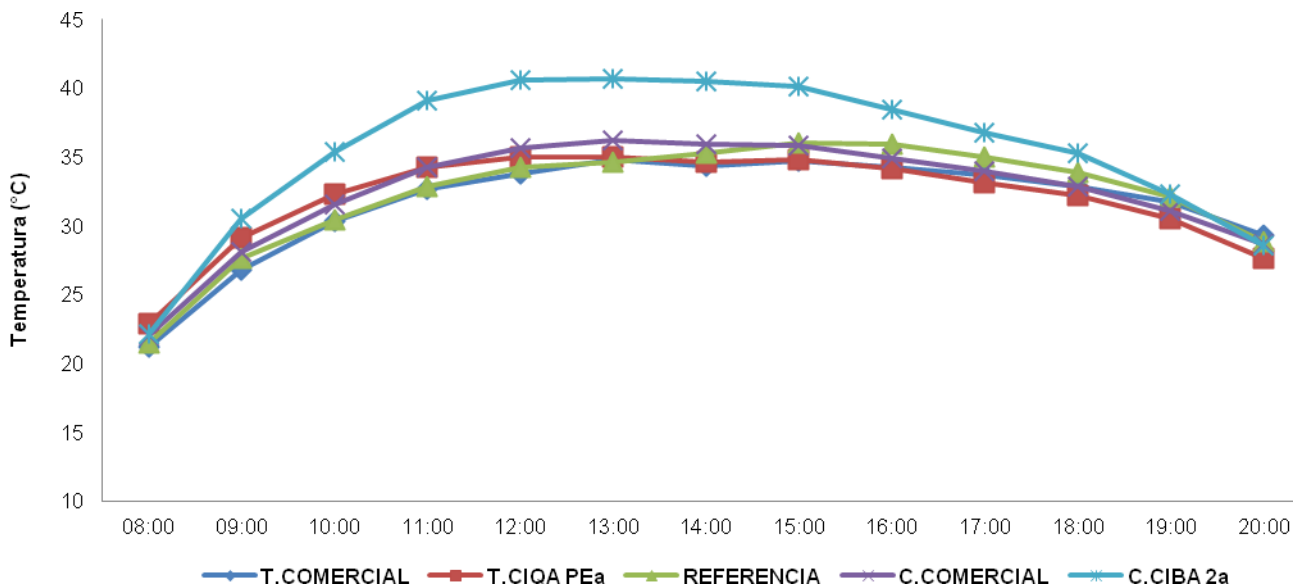


Figura 16. Comportamiento de la temperatura en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.

En el período de 64 a 85 d.d.s. se suspendió el sistema de enfriamiento en los invernaderos tipo túnel y ya para entonces los cuatro invernaderos evaluados estaban bajo las mismas condiciones de manejo ambiental y ya con el cultivo en pleno desarrollo y productividad, presentando abundante follaje. Los datos que se registraron de temperatura se puede observar en (figura 16) nos da una idea de cómo se comportaron cada tratamiento. En los dos invernaderos tipo capilla y tipo túnel con películas comerciales y en el invernadero tipo túnel con película CIQA PEa, se observó un comportamiento similar en la temperatura, oscilando entre los 35 y 36°C, estos valores son ligeramente mayores, solo un grado centígrado mas de lo que se llevo a registrar en el exterior (34-35°C) en las horas con mayor intensidad de radiación solar.

Mientras que en el caso del invernadero capilla con película CIBA 2a fue donde se registró una mayor temperatura alcanzando 40°C, en la hora máxima de radiación

solar, superando el exterior en donde se llegó a los 35°C. Esta temperatura tan excesiva afectó negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas como se observa en el rendimiento final con respecto a los otros tres invernaderos.

Tognoni, (2000) menciona que el uso de nebulizadores disminuye la temperatura que va de los 10 – 15°C con respecto al exterior; pero no se recomienda para regiones con alta humedad relativa. Lo más recomendable es utilizar películas que logren crear microclimas adecuados dentro de los invernaderos, a través del bloqueo del exceso de radiación visible y bloqueo a la radiación infrarrojo cercano.

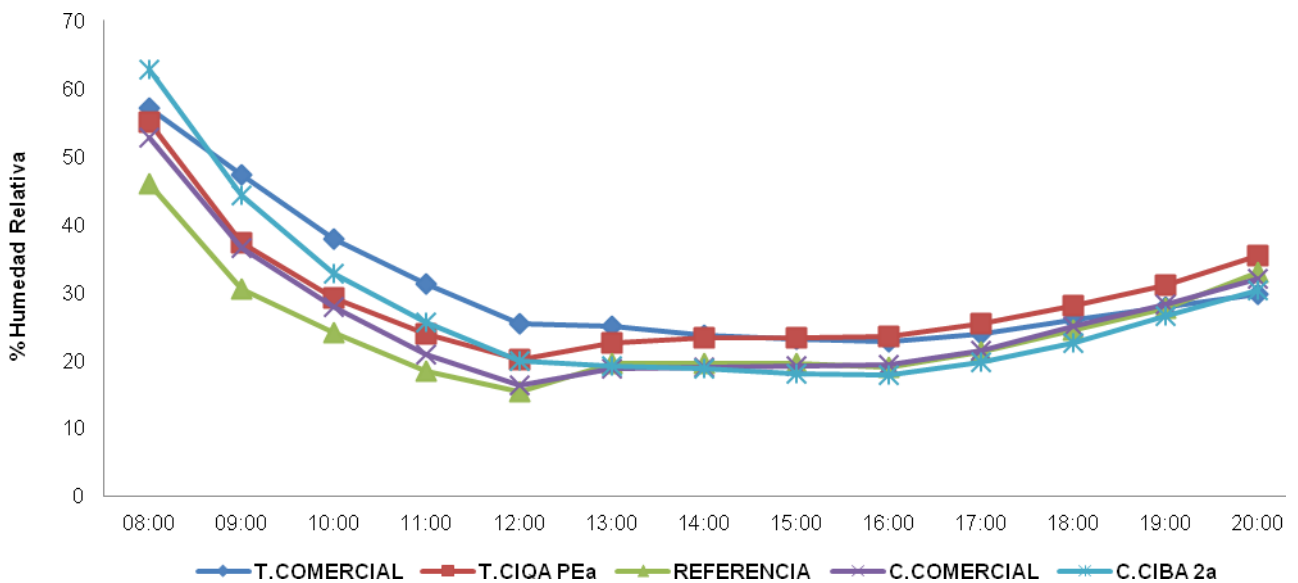


Figura 17. Comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos con diferentes tratamientos de películas para invernaderos 64-85 DDS.

En cuanto a la Humedad relativa en este período se puede observar en la Figura 17, que no hay cambios drásticos entre tratamientos, sin embargo los invernaderos tipo túnel con cubiertas comercial y CIQA PEa presentaron valores por encima del 20%. El tratamiento que presentó los porcentajes más bajos de humedad relativa fue el capilla comercial y capilla CIBA 2a con un 17% este afecto al cultivo durante todo su ciclo. La humedad relativa disminuye conforme aumenta la temperatura efecto dado por la alta radiación solar, también existen variables como la transpiración y evaporación, que influye en los cambios de humedad y temperatura dentro de los ambientes protegidos. Esto a su vez coincide con un mayor déficit de presión de vapor registrado y esto pudo influir directamente en cuanto al cierre de estomas,

debido a las alta radiación solar.

Esto concuerda con lo que Huertas, (2008) menciona, que la humedad relativa dentro del invernadero es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Por eso es muy importante tomar en cuenta principalmente la ubicación y decidir qué tipo de estructura utilizar, también algo muy importante que debemos tomar en cuenta son los factores climáticos como la temperatura, radiación, precipitación, etc. Estos son factores que influyen directamente en el desarrollo, rendimiento y calidad de fruto.

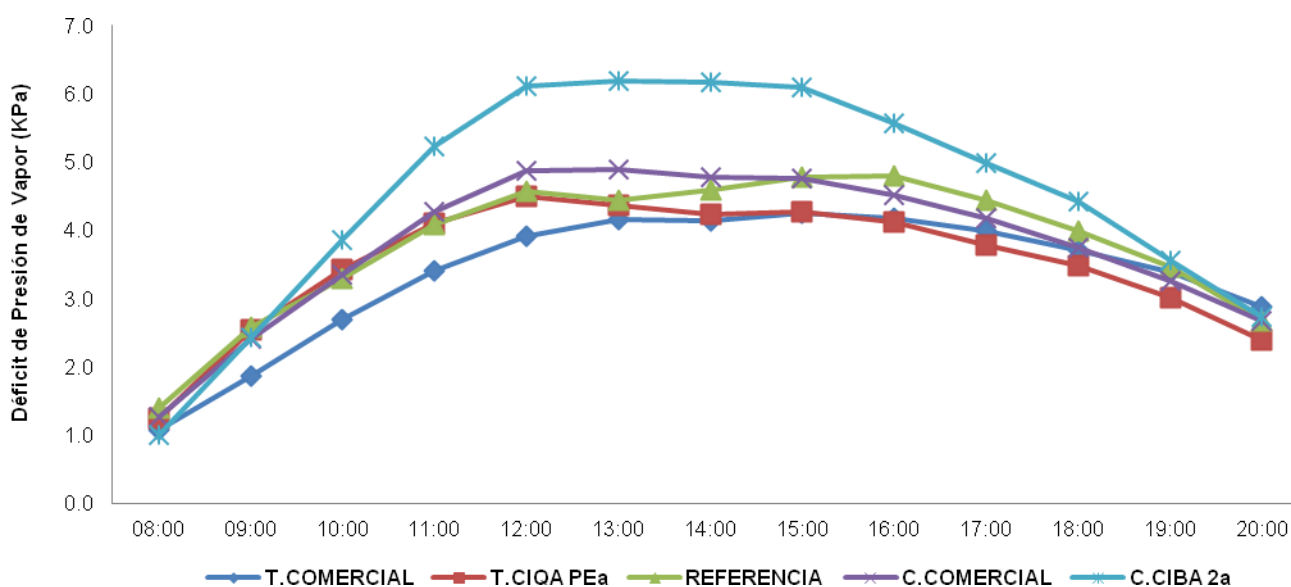


Figura 18. Comportamiento déficit de presión de vapor en los invernaderos con diferentes tratamientos de cubiertas para invernaderos 64-85 DDS.

En cuanto al DPV se puede observar (Fig. 18) que el déficit de presión de vapor en los tratamientos de túnel comercial y CIQA PEa junto con el invernadero capilla comercial presentaron valores más bajos llegando a los 4.9 kPa, esto concuerda con las temperaturas más bajas y valores de humedad relativa más altos. Esto de alguna manera favoreció el desarrollo del cultivo de pepino.

Mientras que para invernadero capilla CIBA 2a, se registraron valores de 6.2 kPa, por encima de lo registrado en el exterior.

El déficit de presión de vapor por encima de los 5 kPa reduce la tasa de fotosíntesis de las plantas, e incrementa los niveles de fotorrespiración y llega a un punto donde

se reduce la velocidad de crecimiento de las plantas. La temperatura y humedad relativa influyen en el déficit de presión de vapor. Ya que una alta temperatura tiende a disminuir la absorción de agua y nutrientes, en particular el calcio, el cultivo es más susceptible a enfermedades (Garzoli, 1989).

Esto afecta el crecimiento de las plantas y ocurre la fotorrespiración lo cual no es conveniente para el rendimiento del cultivo.

4.3 Análisis del Comportamiento De Las Variables Fenológicas

Área Foliar y Acumulación de Biomasa

Con lo que respecta al área foliar producida por las plantas de pepino, que se localizaron bajo diferentes tratamientos, se puede observar en la figura 19. De acuerdo a la media del área foliar de cada tratamiento que se tomaron durante todo el ciclo del cultivo se encontraron diferencias como se puede observar en la grafica de la figura 19 Se tiene que el invernadero tipo túnel CIQA PEa, Capilla Comercial y Túnel Comercial, presentaron los valores más altos de área foliar, lo que muestra que las hojas de las plantas eran más grandes y más delgadas, esto puede estar influido por el menor porcentaje de la trasmisión de la radiación fotosintéticamente activa en estos invernaderos. Mientras que el área foliar de las plantas en el invernadero tipo capilla con cubierta CIBA 2^a fue significativamente menor con respecto a los demás tratamientos. Lo anterior indica que anatómicamente las plantas se ven influenciadas por la cantidad y calidad de la radiación que están recibiendo, como se puede ver claramente en el caso del invernadero capilla CIBA 2^a, que registró una media de área foliar más baja. Estos resultados están relacionado directamente con la cantidad de radiación PAR que se registro durante todo el ciclo del cultivo en donde las plantas recibieron mucho más cantidad de radiación PAR y mas radiación directa y menos difusa y esto influyó en plantas con hojas más pequeñas, gruesas y todo esto nos da un menor área foliar.

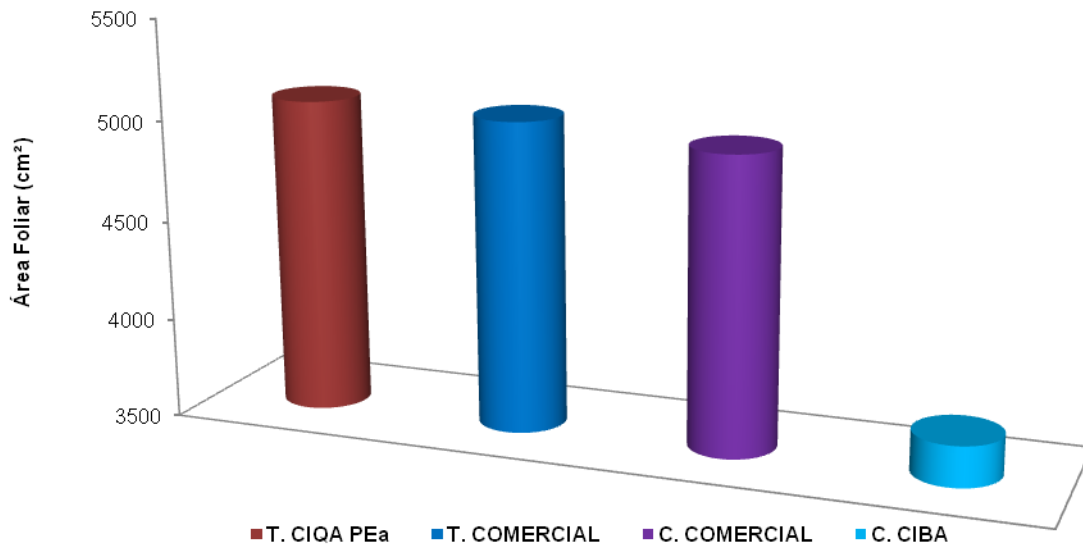


Figura 19. Media del área foliar del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero cubierta con diferentes tratamientos de películas.

En estudios realizado por Jarma et al., (2005) se menciona que el incremento de la superficie fotoasimilatoria se traduce en una mayor intercepción de la luz y una mayor fijación CO₂, sugiriéndose que las plantas con mayor área foliar expuestas a estas radiaciones realizaron mayor tasa de fotosíntesis. Pero también comenta que valores más altos de radiación pueden causar una fotoinhibición de la fotosíntesis, con el consecuente efecto negativo sobre el desarrollo de área foliar; por lo tanto en esta investigación se puede afirmar que el exceso de radiación también causa daños debido a que ocurre el rompimiento de los pigmentos que influyen en la fotosíntesis, lo cual se conoce como fotoinhibición. Esto como resultado trae problema en todo los aspectos de las plantas como desarrollo vegetativo y esto se ve reflejado al final en cuanto a rendimiento.

Acumulación de Biomasa

En la figura 20, se pueden observar las medias de acumulación de biomasa para los diferentes tratamientos. Los resultados muestran que en el invernadero tipo túnel con película CIQA PEa fue donde se obtuvieron los valores mayores en acumulación de biomasa, seguido por el invernadero túnel con cubierta comercial, y capilla con

cubierta comercial, respectivamente con valores muy similares entre ellos. Mientras que en el caso del invernadero tipo capilla con cubierta CIBA 2a fue donde se alcanzaron los valores menores de acumulación de biomasa de las plantas.

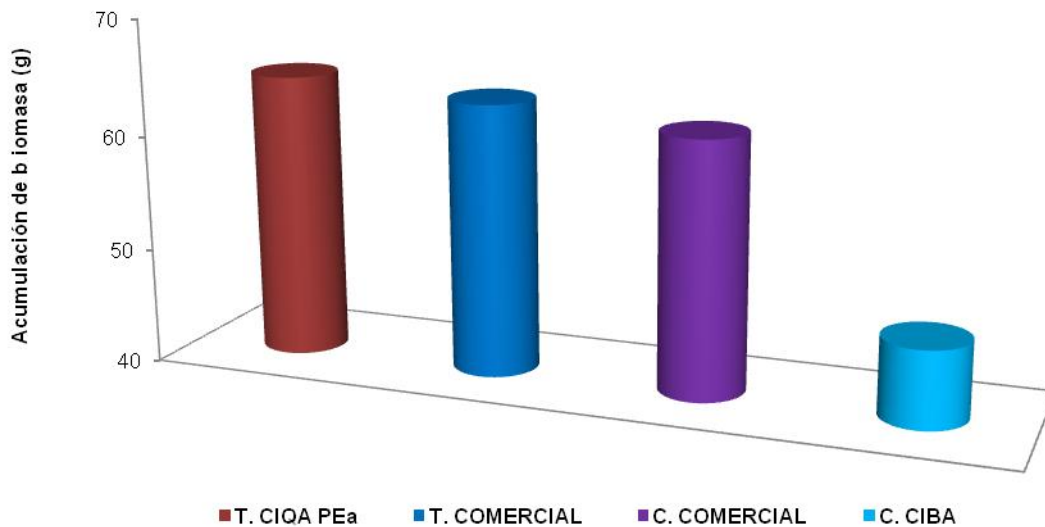


Figura 20. Comportamiento de la acumulación de biomasa en el cultivo de pepino bajo invernadero con diferentes tratamientos de películas.

Los resultados en acumulación de biomasa se vieron influenciados directamente por las propiedades ópticas de cada película, como se sabe es importante que los plásticos dejen pasar una cantidad de radiación suficiente para el cultivo, que no esté por debajo de las necesidades de saturación de luz para el cultivo, pero que tampoco esté en exceso que pueda afectar negativamente al cultivo. También es muy importante que esta radiación pase en forma difusa en un porcentaje cercano al 70%, es decir que el rayo solar al atravesar el plástico sufra la mayor dispersión posible con el fin de que la planta se encuentre iluminada en todo su entorno y no solamente en la parte foliar superior; de manera que las plantas puedan producir un mayor desarrollo vegetativo y obtener mejores rendimientos.

Por lo tanto la acumulación de total de biomasa está directamente relacionada con la cantidad de radiación que cada tratamiento dejó pasar, debido a que una mayor transmitancia de la radiación desencadena los factores como la temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor. Conjuntamente estos factores crean un microclima favorable o desfavorable dependiendo de cuánta radiación se transmite y

sobretudo la calidad con la que llega dentro de cada invernadero para que las plantas lo puedan aprovechar al máximo.

4.4 Rendimiento y Número de Frutos de Pepino

Rendimiento.

Como se puede observar en el cuadro 3 los resultados muestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos para rendimiento de fruto. El tratamiento donde se obtuvieron los mas altos rendimiento fue en el invernadero tipo túnel con película CIQA PEa con 72 toneladas por hectárea en 9 cortes, seguido por el invernadero tipo túnel con cubierta Comercial e invernadero tipo capilla con cubierta Comercial con 67 y 65 ton por hectárea respectivamente. Los rendimientos menores se tuvieron en el invernadero tipo capilla con cubierta CIBA 2ª con solo 38 toneladas por hectárea. La disminución tan drástica en los rendimientos del invernadero capilla con cubierta CIBA 2ª están relacionadas con las temperaturas mas altas (40 o mas grados centígrados), y las humedades mas bajas en este, lo que se reflejó en un DPV muy alto (mayor de 5 kPa) que afectó negativamente al desarrollo y productividad del cultivo.

Número de Frutos

Los resultados para el número de frutos cosechados en los diferentes tratamientos muestran que también existe diferencias estadísticas significativas entre éstos. En este caso de número de frutos se puede observar que la mayor cantidad de frutos cosechados se obtuvieron en el tratamiento del invernadero tipo capilla con cubierta Comercial, seguido por el invernadero tipo túnel con cubierta CIQA PEa e invernadero tipo túnel con cubierta Comercial y el tratamiento con menor número de frutos fue el invernadero tipo Capilla con cubierta CIBA 2ª con 25 a 35 % menos que en los demás tratamientos. Se puede observar también que en el invernadero tipo capilla con cubierta Comercial se obtuvieron más número de frutos que en los demás, entre 20,000 y 30,000 frutos mas, pero sin embargo el rendimiento en toneladas fue de aproximadamente 2 y 7 toneladas menos , lo que significa que si tuvo mas frutos pero

estos fueron de menor tamaño y peso, o sea de menor calidad.

Cuadro3. Medias del rendimiento del cultivo de pepino bajo diferentes tratamientos de películas para invernadero, mediante Duncan con un nivel de significancia de 0.05

Tratamientos	Número de Frutos		Rendimiento	
	Frutos planta ⁻¹ 1	Frutos ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹
T.CIQA PEa	8.3 A	214919 A	2.80 A	72883 A
T.COMERCIAL	7.8 A	202307 A	2.50 A	67087 A
C.COMERCIAL	8.9 A	232425 A	2.52 A	65577 A
C.CIBA 2a	5.8 B	151308 B	1.46 B	38012 B
Significancia (R²)	0.8219	0.8199	0.8134	0.8135
C.V. (%)	10.2043	10.2563	15.1408	15.1391

NOTA: Letras diferentes determina diferencia significativa entre tratamientos.

V. CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de los principales parámetros, implicados en los procesos de la investigación se presentaron las siguientes conclusiones

- Toda las películas evaluadas presentaron un buen porcentaje de bloqueo a la radiación PAR, pero dejan pasar la cantidad suficiente para las necesidades fisiológicas del cultivo, excepto el tratamiento CIBA 2^a que al parecer deja pasar radiación en exceso.
- La radiación PAR registrada durante la evaluación disminuyo un poco conforme pasaron los días pero no fue muy significativa. Se alcanzo una mayor trasmittancia en invernadero CIBA 2^a, pasando afectar negativamente el desarrollo de las plantas debido a una ambiente inadecuado para este tipo de cultivo.
- La mayor radiación solar provoco mayor incremento en la temperatura dentro de los invernaderos afectando el porcentaje de humedad relativa, lo cual provocó un mayor déficit de presión de vapor y obteniéndose resultados desfavorables en el desarrollo y rendimiento del cultivo.
- En cuanto a la temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor presentaron un mejor comportamiento en los invernaderos túnel CIQA PEa y comercial.
- Las propiedades ópticas de cada película influyeron directamente a propiciar un microclima para el desarrollo del cultivo que se vio reflejado en rendimiento y número de frutos.
- En donde se obtuvo los mejores resultados fue en el invernadero túnel con la película CIQA PEa presento un alto desempeño durante todo el ciclo del cultivo con una mayor calidad de crear un microclima favorable para el cultivo de pepino y por lo tanto un mayor rendimiento.
- Se puede señalar que la película CIQA PEa es una potencial alternativo para sustituir la película comercial de importación que actualmente se utiliza en nuestro país en la agricultura protegida. La cual puede traer grandes beneficios para los agricultores y fabricantes nacionales de película.

VI. LITERATURA CITADA

- Alpi, A.; F. Tognioni. 1999. Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica. 3^{ra} ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343p.
- Alvarado, V.P.; Urrutia, S.G.2000. Invernaderos materiales, tipos zona aptas, tendencias e innovaciones. Revista el Agroeconómico de la fundación chile. Editorial del cardo
- Arbel,A., Shklyar, A., Barak, M. 2000. Buoyancy- driven ventilacion in a greenhouse cooled by a fogging system. Acta Horticulturae, 534:327-334.
- Baille, A. 1998.Energy cycle. In: Greenhouse Ecosystems. 265-286. Stanhill, G., Enoch, H.Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam.
- Benavides, A. 1999. Productividad, Sólidos Solubles y Redox de Extractos de Peciolos en Espinacas. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México 25315.
- Bouchet,E;Freyre,C;Bouzo,C.2002.Relationship between the transmisivity of the photosyntethic radiation and the solar incidence angle on the plastic film. Revista FAVE ciencias agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad National del Litoral. Vol. 1(2).
- Cabrera, F.; J. Baille; A. Lopez; C. Gonzales-real; M. Perez-parra; J.2009. Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. Elsevier.103:344-356.
- Caldari,J.P.2007. Manejo de la Luz en Invernaderos. Los Beneficios de la Luz de Calidad en el Cultivo de Hortalizas. I simposio Internacional de invernaderos. Mexico. Pp: 1-5.

- Castellvi, S.F. y Elias, C.F. 2001. Agrometeorología. Editorial Mundi- Prensa. Segunda edición. Madrid España. Pp421.
- Castilla,M. 2001. La radiacion solar en invernadero en la costa mediterránea española. Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. Cajamar. Almería, España:35-48.
- Castilla,N.2007.invernaderos de plásticos: tecnología y manejo. 2ª Edición corregida y ampliada.Mundi-Prensa Libros. Madrid. 462pp.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2003. Guía técnica de pepino *Cucumissativus*. Guía técnica No. 17. La Libertad, El Salvador.
- Diaz, S. T. 2000. Plásticos, cubiertas a medida para invernaderos. La industria del invernadero: 138-143.
- Charinpanitkul, T. Ruenjaikaen, K. Piyabutr, S. Arthotn,W. Kyo, S.2007. Optical Transmission of Greenhouse Film Prepared from Composite of Polyethylene and Microsilica. Center of Excellence in Particle Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 13(6) 992-996.
- Dintcheva,TZ.;N. Mantia, P.;F. Cascone,M. Balloni,A. 2010.The role of the disposition of the recycled polymer on the properties of films for greenhouses coverage.Journal of Applied Polymer Science. 119(4):1986-1991.
- Elizalde, A. 2007. 1^{er} Simposio Internacional de Invernaderos, Construcción, Producción e Insumos- Piafusa. 59-64.

- Espí,E., Salmeron,A.,Garcia, Y. Catalina.F.2002. Pigmentos de inferencia como modificadores del espectro de trasmisión de filmes agrícolas. Revista de plásticos modernos. Vol. 83:50-56.
- Ferratto,J.A.; M.S.Panelo.2003. Climatización en invernaderos.Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria.Revista IDIA XXI: N°4 Agosto. Cadena Hortícola y Florícola.Buenos Aires,Argentina.pp:160-163.
- Figueroa R. J. E. 2008. Factibilidad técnica y económica de la construcción de una cubierta plástica para la producción de plántulas en bandejas en las condiciones de Tarabana estado de Lara. Tesis de licenciatura. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Lara, Venezuela.
- Gazquez,G.J.;L.J.Hernández; R.M. Gómez; I.M. Ortuño. 2002. Evaluación de polinización en invernadero bajo plásticos convencional y anti plaga. XXXII seminario de técnicos y especialistas en horticultura. Logroño, consejería de agricultura, ganaderia y desarrollo rural. Rioja,España:1-8.
- Giacomelli, G.A. and W.J. Roberts. 1993. Greenhouse Covering Systems. Hort Technology 3:50-58.
- Giacomelli, G. A.; K. C. Ting & S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. Transactions of the ASAE 31(5):1540-1543.
- González, B.; A. Fernandez, H.; J. Bañon, A.; S.1992. Cultivo de esparagos verde en invernadero. Edicion mundi-prensa. Pp 69.
- Hernández, J.; I. Escobar; N. Castilla. 2001. La radiación solar en los invernaderos mediterráneos. Horticultura. 157: 1-9.

Huertas. L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. Revista horticultura. Marzo, 205:52-54.

Iglesias N.; Muñoz. 2007. Comparación de la trasmisión de la radiación fotosintéticamente activa en invernaderos del norte de Patagonia. Horticultura Argentina. Rio negro Argentina 26(60):10-16.

Jarma, A; Rengifo, T; Hermes, A. 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. Revista científica de america latina y el Caribe, España y Portugal. Vol.23.Pp.207-216.

Lopez, P.; J. Lorenzo, N. Castilla, J. Pérez-parra, J.L. Montero, E. Baeza, A. Antón, M.D. Fernandez, A. Baille, M. González-real. 2001. Incorporación de tecnología al invernadero mediterraneo. Cajamar. Almeria, España.

Manrique, E. 2003. Los pigmentos fotosintéticos, algo mas que la captación de luz. Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente: 1:11

Meir, S. 2004. producción de hortalizas en condiciones tecnificadas. Seminario del ministerio de relaciones exteriores de Israel centro de cooperación internacional. Managua, Nicaragua: 2-30.

Möller, M.; J. Tanny; S. Chen; M. Téstel. 2003. Micrometeorological characterization in a screen house. Acta Horticulturae. 614:445-452.

Muñoz, P.; A. Antón; J.I. Montero. 2005. cultivos de pimiento en invernadero.

Influencia de la humedad ambiental y de la salinidad. Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura,34. Murcia, España:26-30.

Papaseit,P.1993. Plásticos agrícolas en el mundo. Industria Hortícola. Horticultura internacional:19-23.

Papasseit, P. 2009. Nuevo concepto en la producción de plantas con luz difusa. Industria Hortícola. Horticultura Internacional:32-36-

Perez,C.;J.C.López;J.C.Gásquez;D.E.Meca; A.Marin;M.S.Bermúdez; A.Solera.2007. influencia de los plásticos antiplagas sobre la presencia de Bemisia tabaco y Frankliniella accidentalis. XXXVII seminario de técnicos y especialistas en Horticultura.Almería:1029-1035.

Prenger,J.J.; Ling. 2007. Greenhouse condensation control: Understanding and using vapor pressure Deficit (DVP). Extension Factsheet. The Ohio State University. Wooster, Ohio.

Quezada,M.M.R. Cedeño, B. Munguia,L. Flores, V. Arellano, G. 2008. Evaluación de cubiertas plastcisas con características especiales para uso en invernadero.

Quezada, M.M.R.Munguia,J. De la Rosa, M. 2004. Efecto de acolchado foselectivos en el desarrollo y rendimiento de las hortalizas. Cepla, Plasticos en la agricultura 2004. Vol 5 N° 123.

Quezada, M.M.R.1987.Produccion en Invernadero. Curso Nacional de Plásticos en la Agricultura. Coordinación de Agronomía. Departamento de Horticultura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.35pp.

- Robles, T; Santos L; Martínez J. 2005. Desarrollo vegetativo de melón (*cucumis melo l.*) establecido por trasplante, con guiado vertical y acolchado plástico en la comarca lagunera. Revista Chapingo serie Zonas Áridas. 4: 9-13,14.
- Samaniego, C.e.;M.R. Quezada; M.De la Rosa I.; J. Munguia L.;M.Benavides A.;L. Ibarra J.2002. Produccion de platulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrociencia, mayo-junio, Vol.36:305-318.
- Sanchez, M.P.2007. cambios en la respuesta fotosintéticas a la luz de la hojas de VID(*Vitis vinífera L.*) por factores biológicos ambientales y culturakes. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Madrit: 48-50.
- Serrano,C.Z.2005.Construccion de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa.Tercera edición. Madrid,España. Pp.504.
- Té, G.E.2008.produccion orgánica de tres variedades de pepino bajo condiciones de invernadero. Tesis. Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería. Especialidad en ingeniería de Invernaderos.
- Tesi, R.2001.Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismos.Ediciones Mundi- Prensa.Tercera edición.Madrid,España.Pp 275.
- Tognoni, F.2000. Temperatura. In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA,S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, jal., Mexico.pp: 12-27.

Vasco,M.2003. El cultivo de pepino bajo invernadero. Técnicas de producción en cultivos protegidos II. Cajamar.Almería,España:691-722.

Zermeño, G.H.2003.Abonos orgánicos y plasticultura. Facultad de agricultura y zootecnia de la UJED sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C. Pp.146-165.