

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Efecto de Películas para Invernadero con Propiedades Ópticas
Especiales, sobre el Crecimiento y Rendimiento de un Cultivo de Pepino
(*Cucumis sativus* L.).

Por:

EDGAR CÁRDENAS AGUIRRE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto de Películas para Invernadero con Propiedades Ópticas Especiales, sobre el
Crecimiento y Rendimiento de un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.).

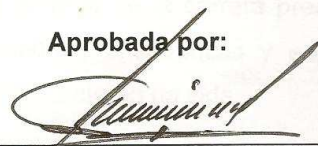
Por:

EDGAR CÁRDENAS AGUIRRE

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por:



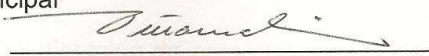
Dr. Manuel De la Rosa Ibarra

Asesor Principal



M.C. Ma. Rosario Quezada Martin

Coasesor



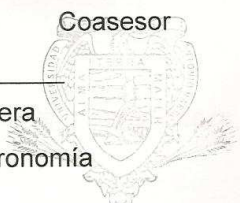
Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Coordinación
División de Agronomía

Junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por ser la mejor institución de estudios, por los servicios proporcionados y por ser la oportunidad que siempre deseé, por las enseñanzas, conocimientos y más que nada por ser mi hogar por más de cuatro años de mi vida.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por la hospitalidad y el apoyo brindados. Por proporcionar instalaciones y materiales necesarios para hacer posible la realización de este proyecto de investigación.

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” para el desarrollo de esta tesis de investigación.

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 Rosario Quezada Martín por la planeación y dirección de este proyecto, por su apoyo, enseñanza, conocimientos, confianza y paciencia proporcionados para que este trabajo concluyera de la mejor manera posible.

Al Dr. Manuel De la Rosa Ibarra por su disposición, sus consejos, enseñanza, tiempo y su apoyo dado en todo momento.

Al Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla por su amistad brindada, sus consejos desde el tiempo en el que tuve fortuna de conocerlo, por su disposición y accesibilidad con esta la última tarea de mi carrera.

A la M.C. Juanita Flores Velásquez por su apoyo en la realización técnica y revisión del trabajo.

A la M.C. Rosario Rangel por su participación en pruebas de Laboratorio, por sus evaluaciones de transmisión de radiación infrarrojo y UV de las películas de las películas plásticas que serían evaluadas.

Al ing. Felipe Hernández Castillo por el trabajo técnico realizado en el manejo agronómico, control fitosanitario y cosechas del cultivo.

Un agradecimiento especial a los trabajadores de campo: Jacobo y Arturo del CIQA por su apoyo, ayuda, consejos y amistad prestada a lo largo de la realización del trabajo.

DEDICATORIAS

A mi familia:

Mis padres Ma. Asunción Aguirre Mendoza y Gabino Cárdenas Uriostegui: Son mi guía, mi fuerza y siempre serán los maestros principales de mi vida. Su apoyo, consejos, enseñanza, todo el cariño y amor que me han dado a lo largo de mi vida ha forjado lo que hoy en día soy. Gracias por impulsarme a siempre mirar más alto, por estar siempre a mi lado, y por ser las personas más maravillosas de mi vida.

A mis hermanos:

Judith, Ángeles y Santiago Cárdenas Aguirre por ser siempre tan condescendientes, por su apoyo económico, moral, por su cariño y por estar dispuestos a estar a mi lado hasta el final de este proyecto tan importante para mí.

Yesenia y Rocío Cárdenas Aguirre por estar siempre conmigo, entenderme, apoyarme y ser mis cómplices; por quererme tal cual soy y por todo el apoyo y cariño que siempre me han dado, porque la vida no habría sido la misma sin ustedes.

Estela, Gabino, Inés y Carlos (†) Cárdenas Aguirre por ser parte tan importante en mi vida y que a pesar del tiempo y la distancia que nos separa siempre están en mi mente y corazón, porque a pesar de todo su apoyo y presencia los siento conmigo.

A mis amigas Mary Cruz, Ariana, Ema Laura y Lupita porque más que mis amigas han sido mi familia desde que nos conocimos, por su compañía, comprensión, complicidad y por todo el amor y cariño que me han tenido, por tantas experiencias vividas y que nos faltan. Las quiero!

A mis amigos Dalia, Charly y Dani porque a pesar de conocernos relativamente desde hace poco tiempo, hemos vivido y compartido experiencias increíbles, porque me quieren y los quiero. Gracias por siempre estar a mi lado, por la comprensión, ayuda, apoyo, tiempo y cariño que me han brindado.

A mi amigo querido Sergio Isaac Siu López, mi hermano que me ha acompañado en locuras y aventuras a lo largo de mi carrera. ¡Te quiero, gordo!

A Germán, Víctor, César, Nazario, Fernando, Ángeles, y todas esas personas que han hecho que mi vida en Saltillo sea más agradable.

A la señora Herminia Estrada Esquivel por la ayuda, la paciencia y por soportarme en su hogar cuando lo necesité, por ayudarme a cubrir parte de mis necesidades cuando me hacía falta, por eso y por todo lo que hizo por mí, muchas gracias!

Al amor de mi vida E.O.S.E pues desde que te conozco, mi vida dio un giro, y hoy puedo decir que sin ti nada sería igual, gracias por apoyarme, aconsejarme y estar siempre a mi lado, eres la persona que más quiero y que me da la fortaleza para seguir, para lograr mis metas y hacer realidad esos sueños que parecían tan lejanos. Gracias por darle sentido a mi vida y por estar siempre conmigo. ¡Te amo!

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Aplicación de Películas Plásticas en la Agricultura.....	4
2.1.1 Invernaderos.....	4
2.1.2 Propiedades de las Cubiertas Plásticas para Invernaderos.....	6
2.1.2.1 Propiedades Ópticas.....	6
2.1.2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas.....	8
2.1.3 Materiales Utilizados para Cubiertas de Invernadero.....	8
2.1.3.1 Placas Rígidas.....	9
2.1.3.2 Placas Flexibles.....	10
2.1.4 Tipos de Películas Plásticas para Invernadero.....	11
2.1.4.1 Películas Térmicas.....	12
2.1.4.2 Películas Fluorescentes.....	13
2.1.4.3 Películas Antiplagas.....	13
2.1.4.4 Películas Frías.....	14
2.1.4.5 Nuevos desarrollos.....	14
2.1.4.5.1 Plásticos antitérmicos.....	15
2.1.4.5.2 Plásticos cromogénicos.....	15
2.1.4.5.3 Plásticos luminiscentes.....	15
2.1.4.5.4 Plásticos antiviruses.....	15
2.2 Modificación del Ambiente en el Interior del Invernadero por la Utilización de las Películas Plásticas con Diferentes Características.....	15

2.3 Influencia de Películas Plásticas en el Crecimiento, Desarrollo y Rendimiento de los Cultivos.....	16
2.4 Fisiología de los Cultivos y Factores Ambientales que la Afectan.	17
2.4.1 Temperatura.....	17
2.4.2 Radiación.....	19
2.4.3 Bióxido de Carbono (CO ₂).....	20
2.4.4 Humedad Relativa (HR).....	20
2.5 Importancia de las Hortalizas.....	21
2.6 Producción de Hortalizas.....	21
2.7 Generalidades del Cultivo de Pepino.....	22
2.7.1 Necesidades Edafoclimáticas.....	22
2.8 Análisis de Crecimiento y Desarrollo.....	24
III. MATERIALES Y METODOS.....	29
3.1 Descripción del Sitio.....	29
3.2 Condiciones Climáticas.....	29
3.3 Procedimiento.....	30
3.4 Diseño Experimental.....	33
3.5 Variables Dependientes.....	34
3.5.1 Agronómicas.....	34
3.5.2 Índices de Crecimiento.....	34
3.5.3 Rendimiento.....	34
3.6 Variables Independientes.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	36
V.CONCLUSIONES.....	67
VI. LITERATURA CITADA.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1	Temperaturas críticas para el desarrollo vegetativo de algunos cultivos.	18
Cuadro 2	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 20 a los 35 dds.	37
Cuadro 3	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 20 a los 35 dds.	38
Cuadro 4	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 35 a los 45 dds.	41
Cuadro 5	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 35 a los 45 dds.	42
Cuadro 6	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 45 a los 55 dds.	47
Cuadro 7	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 45 a los 55 dds.	48
Cuadro 8	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 55 a los 65 dds.	52

Cuadro 9	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 55 a los 65 dds.	53
Cuadro 10	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 65 a los 75 dds.	57
Cuadro 11	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 65 a los 75 dds.	58
Cuadro 12	Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 75 a los 85 dds.	62
Cuadro 13	Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 75 a los 85 dds.	63
Cuadro 14	Comparación de medias de las variables de Rendimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan con un nivel de significancia de 0.05.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Efectos de radiación solar en invernadero	6
Figura 2	Transmisión de la radiación a través de una película de Invernadero	8
Figura 3	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35dds.	39
Figura 4	Comportamiento de la Temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35 dds.	40
Figura 5	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35 dds.	40
Figura 6	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds.	44
Figura 7	Comportamiento de la Temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds	45
Figura 8	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds.	46
Figura 9	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.	49
Figura 10	Comportamiento de la Temperatura los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.	50
Figura 11	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.	51
Figura 12	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.	53
Figura 13	Comportamiento de la Temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.	55
Figura 14	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.	56
Figura 15	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 dds.	59
Figura 16	Comportamiento de la Temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 dds.	60

Figura 17	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 dds.	61
Figura 18	Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.	63
Figura 19	Comportamiento de la Temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.	64
Figura 20	Comportamiento de la Humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.	65

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de las propiedades ópticas de la cubierta de invernadero sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.). Se evaluaron dos cubiertas formuladas a base de polietileno calibre 720, colocadas en invernaderos tipo túnel con un área de 96 m², la primera película evaluada fue experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), modificada con nanopartículas de la empresa Peñoles (CIQA Pea), y la segunda fue de formulación comercial (COMERCIAL). Las variables que se evaluaron durante siete fechas a lo largo del ciclo de cultivo fueron: **Dependientes** 1. Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB), 2. Índices de crecimiento: Tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE), índice de eficiencia de cosecha de fruto (IECFRfuto) y 3. Rendimiento. **Independientes** 1. Radiación PAR, 2. Temperatura y 3. Humedad Relativa. Los resultados durante las primeras etapas del cultivo mostraron que la mayor biomasa producida fue utilizada para el desarrollo de órganos como hojas y tallos, lo que se observa en CPB e índices de crecimiento como la TCR. Ambas películas evaluadas presentaban bloqueo a la radiación PAR, la transmisión al interior del invernadero fue de 75% por CIQA Pea y 67% por COMERCIAL, los valores de temperatura fueron mayores que en el exterior y los de humedad relativa más altos a los del, lo que tuvo inferencias en las variables TCR, TAN Y CPBH, con mayores valores en CIQA Pea, esta tendencia se mantuvo hasta los 55 dds. Después del primer muestreo se registraron valores más bajos en la transmisión 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 temperatura y humedad relativa los valores después de la tercer fecha de muestreo se registró un aumento de cerca de 10 °C y un decremento de cerca del 15%, respectivamente y a diferencia de los primeros muestreos en los intermedios se muestra una distribución de biomasa mayor a los órganos reproductivos como hojas y flores según los CPB e índices de crecimiento como IECF. Con las características mencionadas de la película CIQA Pea se logró un incremento en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de pepino.

I. INTRODUCCIÓN

La aparición del plástico fue una revolución en la agricultura en los años 60's, y es que el uso de materiales plásticos con diferentes aplicaciones como acolchados, sistemas de riego localizado, cubiertas, etc. llevó a cambios en los sistemas agrarios con gran repercusión en la productividad de las explotaciones, con ahorro en agua, abonos, control fitosanitario entre otros además de la aparición del cultivo en invernadero tal como lo conocemos hoy día. Medio siglo después, la revolución tecnológica continúa y van apareciendo en el mercado materiales con propiedades con ventajas técnicas para la propia actividad agrícola y por otro con el respeto al medio ambiente (plásticos térmicos, fotoselectivos, biodegradables, fotodegradables etc.). Mediante el uso de plásticos agrícolas se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión del mayor rendimiento potencial; dentro de dichas prácticas se destaca el manejo de invernaderos (Olalde *et al.*, 2000; Cebula, 1995).

Un invernadero es una construcción agrícola cubierta con materiales transparentes que permite el control de parámetros productivos como la temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa, luz, etc., en lo más cercano a lo óptimo para el desarrollo de los cultivos que se establezcan (Serrano, 1994; Maroto, 2008). Su uso ha ido en aumento para la producción de hortalizas en gran escala. Para el año de 1995 la superficie mundial comprendida bajo invernaderos con cubiertas plásticas fue de 265,800 has. En México, el cultivo de hortalizas bajo este sistema de producción está cobrando auge, y actualmente se cultivan unas 4000 has. Las hortalizas más cultivadas bajo invernadero son el tomate, el pimiento, el pepino, el melón y la sandía, (Montoya y Brindis, 2001; Muñoz y Castellanos, 2003).

La intensidad y la calidad de la radiación son factores clave en los invernaderos, ya que se modifica la temperatura interna del invernadero y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides y Ramírez, 2002). Las oportunidades tecnológicas en materiales plásticos para la fabricación de cubiertas para invernadero pasan por el desarrollo y utilización de nuevas películas que permitan una mayor productividad y un mejor control del clima del invernadero para poder obtener las

cosechas en las épocas más ventajosas económicamente (precocidad, producción tardía y calidad).

Así mismo, será necesario que los materiales de cubierta se adapten a los nuevos desarrollos en estructuras (invernaderos con cubierta móvil) o en sistemas de cultivo (producción integrada).

En la actualidad es necesaria la fabricación de películas para condiciones climáticas extremas, puesto que en lugares desérticos en donde la incidencia de radiación es bastante alta, al igual que la temperatura en ciertas estaciones del año, los cultivos no desarrollan su máximo potencial de producción. Este trabajo se realizó con fin de probar una película desarrollada en CIQA con propiedades físicas y ópticas especiales, que podría resultar competitiva, respecto a la película comercial de importación, de manera que maximizara la productividad y rendimiento del cultivo de pepino con fin de beneficiar a los fabricantes nacionales y a los productores que cultivan bajo este sistema de producción, en condiciones de alta radiación y temperatura.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de las propiedades ópticas que tienen las películas plásticas CIQA Pea y una comercial sobre el desarrollo y rendimiento de un cultivo de pepino.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los valores de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura y humedad relativa en las dos películas usadas como cubiertas de los invernaderos.

- Determinar el efecto de las condiciones microambientales en las dos películas evaluadas, sobre los índices de crecimiento y el rendimiento del cultivo de pepino.

HIPÓTESIS

El uso de la película plástica CIQA Pea tendrá un mejor efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo de pepino.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aplicación de Películas Plásticas en la Agricultura

La aplicación de materiales plásticos en las actividades agrícolas a partir de los años 40's y 50's inició una revolución que modificó profundamente el curso de la producción tecnificada de frutas, hortalizas y plantas ornamentales (Wittwer, 1993; Del Castillo *et al.*, 2010). En los años siguientes se lograron notables mejoras tecnológicas que ampliaron la durabilidad y rango de aplicación de los materiales plásticos, además la revolución tecnológica continúa y van apareciendo en el mercado materiales con propiedades que tienen que ver por un lado con ventajas técnicas para la propia actividad y por otro con el respeto al medio ambiente (plásticos térmicos, fotoselectivos, biodegradables, fotodegradables y otros) (Del Castillo *et al.*, 2010).

Las películas plásticas para acolchado de suelos, cubierta de invernadero, mallas para sombreo, antigranizo y anti-insectos generalmente se utilizan en combinación con otras tecnologías como el riego por goteo que permite optimizar las aplicaciones de agua y nutrientes minerales a las plantas. Un sistema de Agroplasticultura bien diseñado y manejado conlleva ventajas inmediatas como producción precoz, aumento en el rendimiento, calidad, uso eficiente del agua, de fertilizantes y disminución en la aplicación de pesticidas. Todas estas ventajas deben balancear favorablemente a corto y largo plazo el mayor costo de inversión inicial que implica el uso de agroplásticos. Por ello estos sistemas productivos requieren un manejo y un control mucho más intensivo que los sistemas tradicionales (Wittwer, 1993).

2.1.1 Invernaderos

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, está influenciado por el clima, donde los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular, expansión celular, toma de nutrientes y agua, se ven modificados, principalmente por la temperatura, déficit de presión de vapor, luz y CO₂.

El metabolismo de las plantas y la tasa de las reacciones metabólicas se ven afectados por la temperatura, llegando a duplicarse la tasa de crecimiento para muchos cultivos expuestos a frío, al incrementar la temperatura 10 °C (Day y Bailey, 1998). Tanto temperaturas extremas bajas como altas, afectan al buen desarrollo de los cultivos (Lorenzo, 2000).

Así como otros sistemas de protección de cultivos, como cortavientos, acolchados, túneles, etc., los invernaderos permiten controlar los factores climáticos, tales como temperatura, humedad y luminosidad entre otras, en los que se desarrolla un cultivo. Se denomina invernadero a aquella estructura de cierta altura, de madera o metal, provista de una cubierta transparente a la radiación solar, ingresando al interior y cumpliendo con los requerimientos fotosintéticos y de calor, y a su vez dejando escapar la menor cantidad de energía, de modo que este balance positivo permite modificar el ambiente interno a fin de hacer posible y ventajoso el crecimiento y desarrollo de plantas. (Alvarado y Urrutia, 2003; Castilla, 2005, Riaño, 1992).

Los objetivos que se persiguen en los cultivos bajo invernaderos, según Maroto (2000), son los siguientes:

- Obtener producciones fuera de época, en circunstancias climáticas en que estas mismas cosechas al aire libre no serían factibles. Lo más frecuente es pretender una mayor precocidad en las producciones hortícolas.
- Incrementar los niveles productivos, objetivo que se cumple por vía directa, con los mejores cuidados de cultivo que se practican y las mejores condiciones del medio físico, y por vía indirecta, puesto que es posible adelantar o retrasar las producciones hacia épocas en las que las condiciones del mercado son desfavorables.
- Mejorar la calidad comercial de las cosechas producidas.

Efecto invernadero

Se refiere a la conservación del calor en el interior del invernadero. El enfriamiento es causado por la emisión de la radiación infrarroja de longitud de onda larga (6,000-15,000 nm) del suelo y las plantas la cual tiende a atravesar la película plástica. Entonces cuánto más opaca sea a esta radiación la película plástica usada, se mantendrá mejor el calor en el interior.

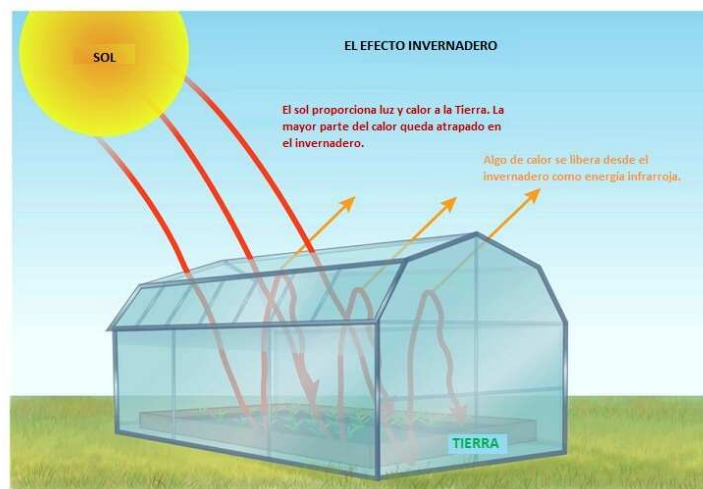


Figura 1.- Efectos de radiación solar en invernadero (Fuente: Hosseini *et al.*, 2009)

2.1.2 Propiedades de las Cubiertas Plásticas para Invernadero

Para escoger la cubierta adecuada es necesario tener en cuenta la situación geográfica, la temperatura máxima y mínima, las posibilidades de heladas, el régimen de vientos, la humedad relativa, el régimen de lluvias, la radiación solar y ante todo, los requerimientos climáticos de la especie que se va a sembrar (Hernández *et al.*, 2001).

2.1.2.1 Propiedades Ópticas

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 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.

Las propiedades ópticas más importantes son la transmisividad y la termicidad, que se refieren al porcentaje de luz que penetra al interior desde el exterior y el porcentaje de radiación infrarroja que pasa del interior al exterior respectivamente. La fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero es designada como “transmisividad global del invernadero”. La capacidad de protección contra el frío de un material depende por un lado de su transmitancia para la radiación IR larga, y por otro de las pérdidas por conducción y convección a su través. (Zabeltitz, 1998). La transmisividad a la radiación solar directa variará en función del ángulo de incidencia (que forman el rayo solar y la perpendicular a la cubierta del invernadero), siendo mayor dicha transmisividad cuanto menor sea dicho ángulo, es decir, cuanto más perpendicularmente incida la radiación sobre la cubierta del invernadero (Bot, 1983).

La difusión de la luz es otra propiedad importante, sobre todo para zonas de gran insolación. Al dispersar la cubierta los rayos solares en todas las direcciones (al igual que hacen las nubes) se evitan sombras y quemaduras en el cultivo. La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejada, desviada o dispersados los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o translúcido (plástico, por ejemplo, en un invernadero) (Hernández *et al.*, 2001).

La radiación solar directa sigue una trayectoria recta (con mínimas desviaciones al atravesar la atmósfera terrestre), es decir, sigue una dirección, mientras que la radiación solar difusa es “adireccional”, proviniendo de toda la bóveda celeste.

Por el carácter adireccional, la radiación difusa penetra mejor entre la vegetación que la radiación directa, pues con ésta el sombreado de las hojas superiores sobre las hojas inferiores de las plantas es mayor que con la radiación difusa.

Los fabricantes definen estas propiedades para cada producto como por ciento (%) de transmisión PAR, % de transmisión visible, % de luz difusa, % de transmisión infrarrojo mediana (MIR). (Hernández *et al.*, 2001).

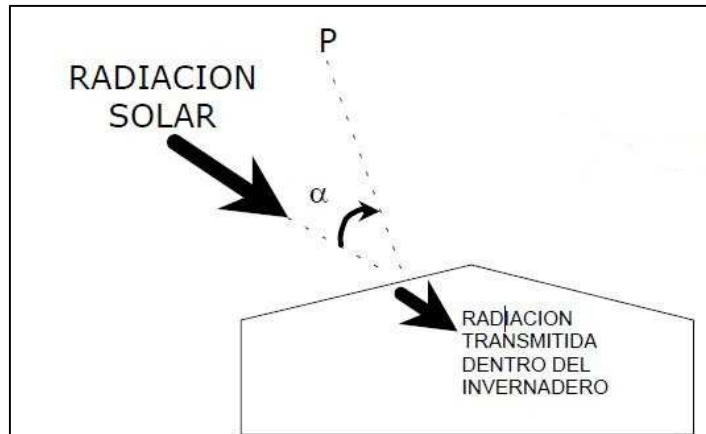


Figura 2. Transmisión de la radiación a través de una película de Invernadero (Montero *et al.*, 2001).

2.1.2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas

Junto con la importancia de las propiedades ópticas se encuentran las propiedades físicas y mecánicas que tienen que ver con el espesor, la densidad, la resistencia al rasgado, % de elongación, impacto, tensión, etc. (Hernández *et al.*, 2001).

El espesor es importante porque dependiendo de éste, es la protección que brindarán los plásticos para proteger el cultivo de las bajas temperaturas. La resistencia a la rotura o al rasgado debe tomarse en cuenta, especialmente en zonas de granizo, nieve o viento. El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas. (Hernández *et al.*, 2001).

2.1.3 Materiales Utilizados para Cubiertas de Invernadero

Bretones (1991), menciona que la misión de las cubiertas de Invernaderos es crear un clima en su interior que permita el crecimiento y desarrollo de las plantas, y que el material o materiales ideales serían aquellos que permitieran durante el día calentar lo más posible al invernadero, ser permeables a las radiaciones de onda inferior a 2.5 micras y por la noche lo más opaca posible a las radiaciones de onda larga

(superiores a 2.5 micras), ya que son las encargadas de mantener caliente al recinto, además de tener una buena transmisión de luz visible y buenas propiedades de difusión de luz.

Los materiales más utilizados para el recubrimiento de Invernaderos son los siguientes:

2.1.3.1 Placas Rígidas:

Poliéster Estratificado con Fibra de Vidrio

La principal propiedad del poliéster es el gran poder de difusión de la radiación, creando en el invernadero una iluminación uniforme. Es un material resistente, lo que le permite tener un periodo de vida largo, muy flexible, tiene muy buenas propiedades térmicas y es poco transparente a la radiación ultravioleta. Sus desventajas son el cambio de coloración por rayos ultravioletas y su degradación y pérdida de transparencia por factores como viento, arena, lluvia, nieve, granizo y polvo (Bretones, 1991).

Polimetacrilato de Metilo (PMMA)

Quezada (1997), menciona que este material es conocido como “vidrio acrílico” y tiene una elevada pureza óptica y gran transparencia a la luz, muy similar a la del cristal, su resistencia a roturas es siete veces mayor que la del vidrio a espesores iguales y su peso es menor que el vidrio común, lo que permite usar infraestructuras más ligeras resultando más económico, es muy resistente a los agentes atmosféricos, permite el paso de los rayos ultravioleta y presenta gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo.

Policarbonato (PC)

Dadas las características de resistencia a la intemperie, permeabilidad a rayos ultravioleta y fácil manipulación, las placas de polimetacrilato de metilo y los policarbonatos constituyen los materiales más adecuados para cubiertas de invernaderos, las placas celulares simples y triples son los materiales más avanzados para este uso (Quezada, 1997).

2.1.3.2 Placas Flexibles:

Policloruro de Vinilo (PVC)

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Las láminas se fabrican por calandrado, lo que limita el ancho de la lámina a dos metros, llegando a medir hasta ocho metros mediante sucesivas soldaduras. Su resistencia al rasgado es muy baja, por lo que requiere de estructuras poco agresivas que mantengan bien sujeta la película. Transmite la luz visible en elevados porcentajes, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se le adhiera fácilmente, disminuyendo la propiedad de transmitancia de radiación. Su elevado contenido de cloro le proporciona un buen efecto de barrera contra los rayos infrarrojos (Alpí y Tognoni, 1999).

Polietileno Normal

Tiene una buena transparencia a los rayos ultravioleta, los visibles e infrarrojos cortos, por lo que el invernadero se calienta pronto durante el día, pero el polietileno normal sin tratar transmite más del 70% de la radiación infrarroja de longitud de onda larga emitida por el suelo, las plantas y la estructura del invernadero. Las calorías acumuladas durante el día en el interior del invernadero se pierden con gran rapidez. Este polietileno tiene una duración no menos de un año ya que la luz ultravioleta lo degrada fácilmente (Quezada, 2001).

Polietileno de Larga Duración

Este material tiene todas las características del polietileno normal, la diferencia que existe entre los dos, es que a éste se le agregan inhibidores ultravioleta, lo que evita que el plástico se vea afectado por la radiación ultravioleta y su periodo de incremento (Robledo y Martín, 1981).

Polietileno Térmico

El polietileno térmico presenta las características de los dos tipos de material mencionados anteriormente y además tiene la incorporación de aditivos termoaislantes; la función de estos aditivos es darle al plástico la característica de termicidad. Además de la termicidad se agregan las características de buena difusión de luz, larga durabilidad, efecto antigoteo, entre otras (Quezada, 2001; Oyervides, 2004).

Copolímero Etil-Acetato de Vinilo (EVA)

Su transparencia a la luz visible cuando el material es nuevo es más alta que la de polipropileno térmico. La opacidad a las radiaciones térmicas depende del contenido de acetato de vinilo (AV), siendo necesario del 15 al 18% para conseguir un buen nivel térmico. Las láminas de alto contenido AV, son las recomendables para cubiertas de invernadero en lugares geográficos con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material, pero luego da lugar a bolsas de agua de lluvia y la rotura por el viento (Alpí y Tognoni, 1991).

2.1.4 Tipos de Películas Plásticas para Invernadero

Las oportunidades tecnológicas en materiales plásticos para la cubierta de invernaderos pasan por el desarrollo y utilización de nuevas cubiertas que permitan

una mayor productividad y un mejor control del clima del invernadero para poder obtener las cosechas en las épocas más ventajosas económicamente (precocidad, producción tardía, calidad, etc.). Así mismo, será necesario que los materiales de cubierta se adapten a los nuevos desarrollos que se están produciendo en estructuras (invernaderos con cubierta móvil) o en sistemas de cultivo (producción integrada).

Los distintos tipos de películas para invernadero se pueden clasificar de acuerdo a las características especiales que posean cada una de ellas, la modificación que ejercen sobre el microclima del invernadero, así como la influencia que tienen sobre la el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (CNCP, 2006).

2.1.4.1 Películas Térmicas

El efecto térmico es la propiedad que tienen ciertas películas de inhibir la pérdida de calor acumulado (radiación infrarroja), durante el día, por la noche, emitido por el suelo y las plantas en el interior del invernadero, disminuyendo el riesgo de inversión térmica (CNCP, 2006).

Estas películas presentan una opacidad excepcional a la parte infrarroja del espectro de emisión de la tierra, manteniendo la temperatura del invernadero durante la noche y permitiendo ahorros importantes (10-30%) en el uso de la calefacción. Permiten, por tanto, cultivos en zonas frías, donde con otros materiales de cubierta no serían rentables; es previsible que su uso se vaya incrementando a medida que sus características vayan siendo conocidas por los agricultores y que se extienda el uso de la calefacción en los invernaderos españoles. En general, los materiales para cubierta de invernadero, tanto películas como placas rígidas y mallas, están sujetos a la degradación de sus propiedades debido a los factores ambientales (luz, calor, pesticidas, etc.), por lo que es necesario evaluar y, en lo posible, adelantar, sus propiedades en función del tiempo. Esto se realiza por medio de ensayos de envejecimiento natural y acelerado. Los métodos tradicionales de envejecimiento acelerado poseen factores de aceleración reducidos y limitaciones importantes a la hora de reproducirlas condiciones reales de campo.

El desarrollo de nuevos sistemas experimentales, que permitan acortar los tiempos de ensayo, es una necesidad en la industria del sector (Espí y García, 2009).

2.1.4.2 Películas Fluorescentes

Estas películas tienen la particularidad de modificar la calidad de la luz solar, en cuanto a su distribución espectral, en la parte ultravioleta y visible del espectro, absorbiendo longitudes de onda poco útiles para la planta (ultravioleta y verde) y emitiéndola en otras más aprovechables para la fotosíntesis (azul y roja), con lo que se conseguirían aumentos de producción y mejora de la calidad de la cosecha. Hasta ahora se ha observado que los efectos de este tipo de cubiertas no son universales sobre todos los cultivos, sino que tanto la producción como la morfología de los cultivos (longitud de tallo, número de flores, etc.) dependen del cultivo, incluso de la variedad cultivada. Por tanto, será necesario más esfuerzo de desarrollo y adaptación de las características de emisión de estas cubiertas a cultivos y zonas específicos (Espí y Gacia, 2009).

2.1.4.3 Películas Anti-plagas

Este tipo de películas fotoselectivas con bloqueo ultravioleta protegen a los cultivos de diferentes enfermedades y plagas, por lo que se conocen como películas antiplagas, antiviruses o antibotrytis, lo que permite una menor utilización de pesticidas químicos. Hasta ahora su uso ha estado limitado debido a la percepción por parte de los usuarios de que pueden interferir en la actividad de los polinizadores. Sin embargo estudios recientes han demostrado que esta interferencia no existe o es fácilmente evitable, es probable que su uso se extienda en los próximos años. Habrá que estudiar también el efecto que este tipo de cubiertas tiene sobre la actividad de la fauna auxiliar en los invernaderos que realizan lucha integrada (Espí y García, 2009).

Los plásticos antiplagas no actúan matando la plaga; 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 necesitan las plantas, consiguiendo con ello que no localicen el cultivo o si lo hacen que no sean capaces de extenderse por él; para ellos es como si fuera de noche. Dependiendo de la plaga el efecto será mayor o menor, siendo más importante en aquellas plagas que necesitan mayor cantidad de radiación UV (Soler, 2010).

2.1.4.4 Películas Frías

Son también películas foselectivas que bloquean la radiación infrarroja cercana al visible del espectro solar, evitando el sobrecalentamiento diurno del invernadero y permitiendo cultivos en zonas tropicales o desérticas o en épocas calurosas en otras zonas, donde eran antieconómicos con otras tecnologías. Será necesario desarrollar cubiertas específicas para diferentes climas y cultivos, ya que tanto el bloqueo NIR como la reducción en la transmisión PAR (400-700 nm) que a veces lleva asociada, deben ser ajustadas a las condiciones climáticas locales (Espí y García, 2009)

2.1.4.5 Nuevos desarrollos

Los nuevos desarrollos, según Hernández *et al.* (2001), en materiales plásticos aportan y mejoran las siguientes propiedades:

Antigoteo: Que evitan la formación de gotas aisladas por condensación, mejorando la transmisión de la luz y la sanidad del cultivo al evitar el goteo.

Antipolvo: Que reducen la adherencia de polvo a la superficie y mejorando así la transmisión de luz.

Autolimpieza: Que favorecen que el agua arrastre el polvo de la superficie.

Mejoras técnicas que tienen que ver con la radiación son los plásticos foselectivos que se caracterizan por absorber o reflejar determinadas longitudes de onda selectivamente para conseguir efectos deseados.

2.1.4.5.1 Plásticos antitérmicos

Reducen el calentamiento excesivo durante el día impidiendo la entrada de parte de la radiación del infrarrojo cercano (Hernández *et al.*, 2001).

2.1.4.5.2 Plásticos cromogénicos

Cambian de color en función de una variable que puede ser la temperatura, la luz etc. (Hernández *et al.*, 2001)

2.1.4.5.3 Plásticos luminiscentes

Absorben radiación de una longitud de onda determinada y la emiten a una longitud de onda mayor, para conseguir condiciones lumínicas más interesantes para determinadas producciones (Hernández *et al.*, 2001).

2.1.4.5.4 Plásticos antivirius

Evitan la transmisión de casi el total de la radiación ultravioleta, dificultando el desarrollo y movilidad de insectos plaga. Al reducirla presencia y el desarrollo de plagas reducen la propagación de virus que éstas transmiten. También se reduce el desarrollo de algunos hongos (Hernández *et al.*, 2001).

2.2 Modificación del Ambiente en el Interior del Invernadero por la Utilización de Películas Plásticas con Diferentes Características

En la actualidad el diseño de agroplásticos se basa en obtener un control microambiental significativo utilizando materiales resistentes, durables, de bajo costo y con propiedades fisicoquímicas estables. Las mayores restricciones sobre la productividad de las plantas son impuestas por temperaturas adversas, deficiencia o exceso de humedad o radiación solar, lluvia o vientos intensos, granizo, competencia con malezas, presencia de plagas o enfermedades, deficiencias o desbalances en los nutrientes del suelo y del CO₂ en el dosel (Blum, 1988; Benavides, 1998). Las películas plásticas de diferentes tipos, composición y diseño estructural disminuyen o eliminan las restricciones ambientales mencionadas (Wittwer, 1993).

Las características microambientales son definidas por los intercambios de energía y materia que se llevan a cabo entre las superficies de suelo desnudo o con vegetación y la atmósfera y espacio circundantes. Dichos intercambios dan lugar a un balance energético cuya dinámica depende de la radiación incidente, la temperatura y humedad del aire, la velocidad del viento y el grado de cobertura por vegetación (Blum, 1988).

Al colocar una película plástica entre la superficie y la atmósfera superior aquella actúa como una barrera amortiguadora disminuyendo las variaciones en los factores ambientales. Las características de la película como el color, grosor y transparencia a la radiación influyen sobre el intercambio energético en la superficie de la película y consecuentemente en el ambiente dentro de ella (Tukey y Schoff, 1963). Adicionalmente la presencia de la película restringe la difusión de vapor de agua y CO₂ desde el suelo o el sustrato hacia la atmósfera consiguiéndose de esa manera un microambiente adecuado para el crecimiento de las plantas.

2.3 Influencia de Películas Plásticas en el Crecimiento, Desarrollo y Rendimiento de los Cultivos

El control del metabolismo implica el mantenimiento de la estructura, morfología, composición y fisiología de las plantas dentro de ciertos límites. Se logra por una combinación de señales ambientales que permiten guiar la trayectoria del conjunto de respuestas de la planta. Las plantas son organismos especializados en la captura y transducción energética de la radiación a través de la fotosíntesis. Son capaces también de regular la morfogénesis (generación de la forma y estructura) por medio de la percepción de las características de la radiación (Smith, 1982). Por ello las mayores oportunidades de conseguir el control del metabolismo y la morfogénesis se relacionan con la manipulación de las características de la radiación transmitida o reflejada por películas plásticas.

Es posible también llevar a cabo control metabólico modificando la concentración de CO₂ en el dosel, el balance molar de ciertos nutrientes minerales o aplicando reguladores del crecimiento (Benavides, 1997). Sin embargo, considerando que la radiación es la que delimita el uso de otros recursos ambientales (Smith, 1982), los mejores resultados se esperan definiendo primero los caracteres de la radiación y adaptando a dicha situación el manejo hídrico y nutricional.

Las características clave de la radiación que permiten el control de las respuestas de las plantas son la cantidad de radiación o irradiancia y la calidad de dicha radiación o balance espectral. Este último término se refiere al contenido relativo de radiación violeta, azul, naranja, etc. por unidad molar de fotones (Benavides, 1998).

2.4 Fisiología de los Cultivos y Factores Ambientales que la Afectan

Todas las plantas en crecimiento, ya sea en áreas abiertas, invernaderos o umbráculos necesitan de condiciones óptimas para su desarrollo. Dentro de esas condiciones las más importantes son la temperatura, radiación, CO₂ y humedad relativa (Serrano, 1990; Figueroa, 2008).

2.4.1 Temperatura

De todos los componentes del clima, el calor recibido es el que de una forma más aparente influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, y el que primeramente se considera, a través de su evaluación mediante la temperatura. También es el primer factor climático que se intenta regular en el cultivo hortícola forzado.

La temperatura influye prácticamente en la totalidad de los fenómenos bioquímicos que constituyen la fisiología de la planta, como fotosíntesis, respiración y transpiración; además influye también en todos los procesos físicos y físico-químicos de la planta, como la permeabilidad celular, estabilidad enzimática y translocación de

líquidos, entre otros, así como sobre el propio medio físico (estado del suelo, influyendo en las relaciones de mineralización del nitrógeno y su consiguiente puesta a disposición en forma asimilable para las plantas, en la modificación de su estructura, etc.) (Maroto, 2008).

La temperatura tiene una incidencia fundamental en la realización de los diversos estadios del desarrollo de la planta como la germinación, floración, fructificación, entre otros, (Maroto, 2008; Cols, 2003).

Cada especie vegetal, en cada momento de su ciclo biológico, necesita de temperatura óptima para su desarrollo normal.

Las temperaturas máximas y mínimas que soportan la mayoría de los vegetales están comprendidas entre 0 y 70 °C; fuera de estos límites casi todos los vegetales mueren o quedan en estado latente. Con temperaturas bajas, las células vegetales sufren alteraciones en su constitución, precipitándose y deshidratándose sus proteínas, pues por ejemplo si las temperaturas son inferiores a -4 ó -5 °C, se produce hielo dentro de las células y en los intersticios celulares, que dan lugar a deshidrataciones en el interior de la célula y desgarros de las membranas celulares producidos por los cristales de hielo.

Cuando las temperaturas son altas se produce la coagulación del protoplasma celular y la muerte de la célula; a esta temperatura se le llama temperatura máxima letal (Serrano, 1994).

A continuación se mencionan las temperaturas críticas para el desarrollo vegetativo de algunos cultivos que están dentro de la familia de las Cucurbitaceas.

Cuadro 1. Temperaturas críticas para el desarrollo vegetativo de algunos cultivos.

Cultivo	Temperatura °C				
	Mínima letal	Máxima letal	Mínima biológica	Máxima biológica	Óptima
Pepino	-1	35	10 a 12	35	18 a 25
Melón	0 a 1	35 a 40	13 a 15	25 a 30	20 a 25
Sandía	0	45	11 a 13	30	23 a 28
Calabacín	-1	< 40	10	35	25 a 30

Fuente: Serrano, 1994

2.4.2 Radiación

La radiación solar es el conjunto de ondas electromagnéticas cuya longitud de onda varía principalmente entre 230 y 4000 nanómetros (nm). Según Maroto (2000) en este conjunto se diferencian tres paquetes radiativos: La radiación ultravioleta (UV), que comprende aquellas radiaciones cuya longitud de onda oscila entre 230 y 380 nm. Globalmente viene a suponer entre el 2 y 4 por cien de la radiación solar incidente, y posee una escasa acción térmica y fotosintética.

En algunos experimentos se ha visto que determinadas radiaciones del UV corto (<253 nm) pueden propiciar en algunas plantas la formación de fitoalexinas, inactivando la acción de determinados patógenos. Plásticos fotoselectivos que no transmiten el UV y refuerzan la banda azul pueden tener cierta acción disuasoria en el ataque de insectos vectores de enfermedades virales e inhibir la esporulación de ciertos hongos.

La radiación visible, que comprende el paquete radiativo con una longitud de onda entre 380 y 730 nm, viene a suponer el 50 por 100 de la radiación incidente y juega un papel primordial en la fotosíntesis, que presenta dos máximos, uno en la zona del azul (entre 400 y 500 nm), y otro más elevado en la zona del rojo (entre 600 y 700 nm). Resulta de suma importancia la utilización en Horticultura, de cubiertas de invernaderos, túneles, etc., que transmitan lo más fielmente posible el espectro de este paquete radiativo, al que se le califica como PAR.

La radiación infrarroja, que abarca el paquete radiativo con una longitud de onda comprendida entre 730 y 4000 nm, fracción que viene a suponer el 50 y 80% de la radiación solar. Es una radiación principalmente térmica, responsable del aporte de calor a las plantas. En cultivo bajo invernadero, su papel es fundamental, a la hora de conocer las aportaciones caloríficas de la radiación solar y a la hora de diseñar sistemas de refrigeración (Maroto, 2008).

Rabinowitch *et al.*, 1986, estudiando el “planchado” de los frutos de tomate, pimiento y pepino han constatado que la acción de la radiación (cuando en la maduración se está produciendo en los frutos la degradación de clorofilas a carotenos, por procesos

fotooxidativos), tras una fase de inducción por elevadas temperaturas es fundamental para la manifestación de esta fisiopatía, observando que la susceptibilidad específica es variable y que el proceso de “planchado” se producirá como consecuencia de que una temperatura demasiado elevada induciría una fotosíntesis anómala, lo que provocaría que la energía de la radiación visible se encauzara hacia procesos fotodinámicos negativos.

2.4.3 Bióxido de Carbono (CO₂)

Este elemento de la atmósfera, que es imprescindible en la vida de los vegetales para que puedan realizar la fotosíntesis, se puede controlar en el ambiente de los invernaderos. El CO₂ disminuye en la atmósfera del invernadero como consecuencia del proceso fotosintético; este proceso puede tener limitaciones si la concentración del CO₂ en la atmósfera del invernadero disminuye sensiblemente (Maroto, 2008).

Su contenido en el interior del invernadero varía a lo largo del día; por las noches es excesivo, en las horas del mediodía y posteriormente es cuando la concentración pasa por mínimos, y esto puede disminuir la síntesis del material orgánico, siendo esta deficiencia un factor limitante en el desarrollo del cultivo (Serrano, 1994).

2.4.4 Humedad Relativa

El contenido de humedad relativa en un invernadero es un parámetro climático de gran importancia, puesto que junto con la temperatura puede ser un regulador de la apertura estomática. Así por ejemplo con humedades relativas bajas, una gran parte de las plantas cultivadas cierran sus estomas, con lo que la absorción carbónica puede disminuir y cesar, y la mengua de sustancias orgánicas sintetizadas que ello supone puede repercutir en una menor productividad. Regímenes higrométricos demasiado elevados pueden contribuir asimismo en cultivo bajo invernadero a que proliferen determinadas enfermedades criptogámicas, como mildiu, *Botrytis*, etc., en una gama muy amplia de especies hortícolas, así como a una mayor incidencia de fisiopatías como el rajado en frutos de tomate. Elevadas temperaturas y descensos

pronunciados de humedad relativa provocan una fuerte transpiración, reducen la disponibilidad de oxígeno a nivel radicular y por lo tanto la absorción de agua, y como se mencionó antes, inducen el cierre estomático (Maroto, 2008).

Serrano (1994), menciona que los factores climáticos están íntimamente relacionados y que a medida que aumenta la luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el bióxido de carbono para obtener el máximo rendimiento en la fotosíntesis.

2.5 Importancia de las Hortalizas

La producción de hortalizas es una de las prácticas básicas del hombre, aunque existen diversos objetivos para el que se cultivan, el más importante es el aporte de nutrimentos para la sociedad humana. Las hortalizas son esenciales en la dieta del hombre, al proporcionar fibras, minerales, vitaminas, carbohidratos y proteínas (Hollingsworth, 1981).

2.6 Producción de Hortalizas

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la producción de hortalizas, a nivel mundial, alcanza 614 millones de toneladas por año. La tendencia de producción a largo plazo es creciente, con un aumento aproximado de 3.2% al año. (Cerrato, 2007).

México se encuentra entre los principales productores y exportadores de hortalizas en el mundo, se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial y el primero en el continente. Otros exportadores de gran peso son: Países Bajos, España, China, Francia, Bélgica, y Canadá; los diez principales productores de hortalizas suman alrededor de 70% de la producción de hortalizas en el mundo. En contraste, los grandes importadores de hortalizas son la Unión Europea y los Estados Unidos que suman el 50% del valor mundial de las importaciones de hortalizas; y en menor medida Canadá, China y Japón (SIACON,2006).

2.7 Generalidades del Cultivo de Pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es originario de las regiones tropicales del sur de ASIA, siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años (CENTA, 2003). Ocupa un lugar importante dentro de la Agricultura mundial. Tiene un elevado índice de consumo en el mundo, tanto en fresco como industrializado. El cultivo de esta hortaliza tiene una estabilidad de la superficie, con un aumento de la producción y exportación. México es el segundo exportador mundial de pepino y el primer proveedor del mercado norteamericano (ASERCA, 1998).

2.7.1 Necesidades Edafoclimáticas

Altitud

El cultivo se adapta muy bien a altitudes desde 0 hasta 1,200 msnm dependiendo del cultivar (CENTA, 2003).

Temperatura

Este cultivo se desarrolla muy bien con temperaturas de 18 a 25 °C, sobre los 40 °C el crecimiento de la planta se detiene, cuando es inferior a 14 °C el crecimiento cesa y las plantas mueren cuando la temperatura desciende a menos de 1 °C. Las temperaturas diurnas hasta de 25 °C, incrementan la producción precoz, por encima de los 30 °C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17 °C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12 °C (CENTA, 2003).

Humedad Relativa

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis.

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 cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie (CENTA, 2003)

Precipitación

Necesita precipitaciones relativamente bajas, para reducir la incidencia de enfermedades. Sobre todo en periodo de cosecha (CENTA, 2003).

Fotoperiodo

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. Las plantas son afectadas por la cantidad de horas luz recibidas, cuando los días son cortos se induce la formación de mayor número de flores femeninas y los días largos favorecen la formación de masculinas (CENTA, 2003).

Viento

En lo que se refiere a este factor, más de 30 km h⁻¹ de velocidad del viento por un periodo de 4 a 6 horas en adelante produce una reducción significativa en la producción (CENTA, 2003).

Suelo

El pepino se puede cultivar en una amplia gama de tipos de suelo, desde arenosos hasta los francos arcillosos, los ideales para su buen desarrollo son los francos con abundante de materia orgánica (más de 3.5 %). Estos suelos deben contener una profundidad efectiva mayor de 60 cm, que facilite la retención del agua y el crecimiento del sistema radicular para que la planta logre buen desarrollo y tenga buenos rendimientos (CENTA, 2003).

2.8 Análisis de Crecimiento y Desarrollo

El análisis de crecimiento es la descripción matemática del crecimiento de las plantas o sus órganos durante su ciclo de vida. En este análisis se emplea una serie de ecuaciones que al ser aplicadas correctamente dan valores que representados por curvas permiten visualizar el efecto de factores ambientales (o genéticos) sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Este efecto puede ser detectado tanto en aspectos morfológicos como fisiológicos del crecimiento de las plantas.

Para estos estudios se considera el crecimiento como aumento irreversible de materia seca o peso seco. Al peso seco de una planta o de sus partes se le llama producción biológica o biomasa, en la cual también influye la parte comercial del cultivo (granos, raíces, hojas, fibras, etc.) aunque a veces a esta porción de la biomasa se le llama producción agronómica o económica. Los datos básicos para análisis del crecimiento de plantas individuales que posteriormente se aplicarán a las ecuaciones, son pesos de la planta entera o de sus órganos y área foliar, tomados a intervalos regulares durante el ciclo de vida del cultivo (Fargas, 1985).

El análisis de crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas, como peso seco, longitud de tallos, número de hojas y de ramas, etc.(Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN) y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Hunt, 1990).

Mientras los primeros, tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos explican su eficiencia en acumular materia seca como producto de sus procesos metabólicos.

2.8.1 Índices de Crecimiento

2.8.1.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Permite medir la eficiencia de la planta en el incremento de peso por unidad de tiempo (Hunt, 1990).

$$TCR = \frac{\ln P2 - \ln P1}{T2 - T1}$$

Donde:

TCR = Tasa de Crecimiento Relativo

Ln = Logaritmo natural

P1, 2 = Peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo

T1, 2 = Intervalo de tiempo entre muestreos

2.8.1.2 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Tasa de asimilación neta (TAN): mide la eficiencia fotosintética y determina el incremento de peso por unidad de área foliar en una unidad de tiempo y se calculó mediante la fórmula propuesta por Gómez *et al.*, (1999).

$$TAN = \frac{P2 - P1}{T2 - T1} \times \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{AF2 - AF1}$$

Donde:

TAN = Tasa de Asimilación Neta

Ln = Logaritmo natural

AF1, 2 = Área foliar al inicio y final del intervalo de tiempo

P1, 2 = Peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo

T1, 2 = Intervalo de tiempo entre muestreos

2.8.1.3 Relación de Área Foliar (RAF)

La relación de área foliar es uno de los principales parámetros morfológicos, utilizado para evaluar la relación entre el área foliar (sistema asimilatorio) y el peso seco total de la planta (Azofeifa y Moreira, 2004).

La ecuación de este parámetro según Fargas (1985) es la siguiente:

$$RAF = \frac{\textit{Area foliar total}}{\textit{Peso seco total de la planta}}$$

Las unidades se reportan en cm^2/g .

2.8.1.4 Relación de Peso Foliar (RPF)

Es un índice que mide la cantidad del follaje de la planta expresado con respecto a su peso total (Villalobos, 2001).

Según Fargas (1985) la ecuación para calcularlo es:

$$RPF = \frac{\textit{Peso seco del follaje}}{\textit{Peso seco total de la planta}}$$

Las unidades se reportan en = g/g

2.8.1.5 Área Foliar Específica (AFE)

Según Villalobos (2001) es el área media de las hojas por unidad de peso de hojas. En otras palabras es una mediada del espesor de las hojas, con valores altos para las hojas poco gruesas que poseen muchos centímetros cuadrados de área por pocas unidades de peso.

$$AFE = \frac{\text{Área foliar total}}{\text{Peso seco total del follaje}}$$

Las unidades se reportan en dm²/g (Fargas, 1985).

2.8.1.6 Índice de Eficiencia de Cosecha del Fruto

Este parámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$IEFCFr = \frac{(PSfrut_2 - PSfrut_1) (\ln AF_2 - \ln AF_1)}{(t_2 - t_1) (AF_2 - AF_1)}$$

Donde:

IEFCFr = Índice de eficiencia de cosecha del Fruto expresado en (g.m⁻².día⁻¹)

PSfrut₂ = Peso seco del componente *fruto* en el tiempo dos expresado en gramos (g).

PSfrut₁ = Peso seco del componente *fruto* en el tiempo uno expresado en gramos (g).

AF₂ = Área foliar en el tiempo dos expresada en m².

AF₁ = Área foliar en el tiempo uno expresada en m².

t₂ = Tiempo dos expresado en días después del trasplante.

t₁ = Tiempo uno expresado en días después del trasplante.

2.8.2 Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)

Los coeficientes de partición de biomasa son la razón de una parte de la planta (componente) entre el total de la misma, la ecuación utilizada para el cálculo de este parámetro es la siguiente:

$$CPB = \frac{(pi)}{(P)} = g$$

Dónde:

CPB = Coeficiente de partición de biomasa expresado en fracción

pi= peso seco del componente expresado en gramos (g).

P= Peso seco del vástago (peso aéreo) expresado en gramos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del Sitio

El presente trabajo se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano del año 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, a una altitud de 1610 msnm.

3.2 Condiciones Climáticas

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

Donde:

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, Agosto y 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 Procedimiento

3.3.1 Establecimiento del Cultivo

El experimento se estableció en dos invernaderos experimentales con una estructura tipo túnel y un área de 96 m²; las películas a evaluar fueron colocadas entre los meses enero-febrero de 2011. Se colocaron sensores, tipo hobo (modelo U 23 001 fabricados por Onset) para monitorear la temperatura y sensores quantum (modelo LI-190) para medir la radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el interior del invernadero, conectados a un DataLogger (modelo LI-100 de LI-COR Co.), que registraría y almacenaría durante el ciclo del cultivo los datos de estas variables. Se utilizaron macetas de plástico negro, que fueron llenadas con sustrato estéril (perlita) y se distribuyeron en cinco hileras, con una distancia entre hileras de 120 cm y entre macetas de 30 cm.

Previo a 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 15 cm entre estas, para tener una densidad por hectárea de 26, 000 plantas.

3.3.1.1 Características del material vegetal

Pepino de mesa híbrido

Variedad: Turbo

Pureza: 99 M: INERTE: 1.00 Germinación: 95.00%

3.3.1.2 Riego y Fertilización

Para el riego y fertilización de plantas se utilizó un programa de fertirriego, con la formulación Steiner, con 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 elementos nutritivos incluidos en la fórmula se encontraban en tanques con capacidad de 1,100 litros, separados por su composición química y compatibilidad; 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 radicación acumulados en las diferentes horas del día.

3.3.1.3 Control Sanitario

Se estableció control químico contra plagas y enfermedades. Aplicándose diferentes productos de acción preventiva y curativa en las dosis recomendadas por superficie y/o 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 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 cenicienta polvoriento.

3.3.1.4 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 y cosecha) 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, los tubos fijos al piso y unidos en el extremo superior por cables tensos y firmes. Teniendo un mayor crecimiento en las plantas se procedió a colgar ganchos especiales de tutorado en los cables, con hilo de polipropileno (rafia) sujeto y enredado en el gancho para sujetar las plantas desde la base hasta el ápice para tener un crecimiento vertical.

3.3.1.5 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.

3.4 Diseño Experimental

Para evaluar los resultados se utilizó un método general lineal univariado en el software SAS versión 9.2, con 2 tratamientos y cuatro repeticiones; Los tratamientos evaluados fueron: 1) Formulación de película plástica experimental de CIQA (CIQA Pea), formulada a base de polietileno con un calibre de 720, modificada con nanopartículas metálicas de la Empresa Peñoles; 2) Formulación de película plástica comercial (Comercial).

Se realizaron 7 muestreos, el primero a los 20 días después de la siembra (dds); el segundo a los 35 dds, y los restantes, cada diez días; se realizó un análisis de crecimiento mediante la evaluación de las siguientes variables:

1. Agronómicas [Coeficientes de partición de Biomasa de hojas, tallos, flores y frutos (CPB)];
2. Índices de crecimiento [Tasa de crecimiento relativo (TCR), Tasa de asimilación neta (TAN), Relación de área foliar (RAF), Relación de peso foliar (RPF), Área foliar específica (AFE) e Índice de eficiencia de cosecha del fruto (IECFruto)];
3. Rendimiento.

Las variables índices de crecimiento y rendimiento se sometieron a un análisis de varianza y los promedios entre los diferentes tratamientos se separaron de acuerdo a la Prueba de Rango Múltiple de Duncan y de Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Los muestreos fueron de tipo destructivo y se siguió el mismo procedimiento: 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 modelo LI-COR 300). Se cortó y se separó en cada uno de los órganos vegetativos (tallos, hojas, flores y frutos), procediendo a exponerse a una temperatura de 50 °C durante una semana en una estufa de secado, tomando después el peso seco de cada uno de estos mediante el uso de una balanza analítica.

3.5 Variables Dependientes

3.5.1 Agronómicas

Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)

Los coeficientes de partición de biomasa de hojas, tallos, flores y frutos se determinaron en cada muestreo con fórmulas preestablecidas, utilizando los valores de peso seco hojas, peso seco de tallos, peso seco de flores, peso seco de frutos y peso seco total, calculados en cada muestreo.

3.5.2 Índices de Crecimiento

El análisis de crecimiento trata de explicar en términos matemáticos las variaciones de peso seco y del área foliar en función del tiempo. La estimación de los índices de eficiencia en el crecimiento requiere de la medición del peso seco total de las plantas, así como de sus diferentes órganos y área foliar, en intervalos de tiempo durante el desarrollo de la planta (Radford, 1967; Hunt, 1990); estas mediciones brindan una información más precisa acerca de la eficiencia de las plantas en la acumulación y transporte de asimilados que las mediciones de índole agronómica (Borrego et al., 2000). Para calcular estos índices se usaron los valores de peso seco de tallos, hojas, flores, frutos y peso seco total y área foliar específica mediante fórmulas preestablecidas.

3.5.3 Rendimiento

Esta variable se calculó mediante los datos de peso y número de frutos tomado de la hilera central y de las orillas (tres), cortando y pesando los frutos de tamaño y madurez comercial, teniendo en total 16 cortes.

Se calculó un factor de corrección por las plantas no germinadas utilizando la fórmula de IOWA:

$$\text{Rendimiento calculado} = \text{Rendimiento real} \times \frac{H - 0.3M}{H - M}$$

Donde:

H = Número de plantas totales

M = Número de fallas

0.3 = Factor constante

3.6 Variables Independientes

La variación de temperatura se monitoreó con sensores tipo Hobo (modelo U 23-001 fabricados por Onset) y de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) con sensores quantum (modelo LI-190), ambos colocados en el interior del invernadero y conectados a un DataLogger (modelo LI-100 de LI-COR Co.) que registraba y almacenaba los datos de estas variables las 24 horas de todos los días desde la siembra hasta la última cosecha del cultivo. Se obtuvo el promedio de los días de totales del ciclo de vida del cultivo, se registraron y se plasmaron en gráficos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los índices de crecimiento se analizaron en cada uno de los muestreos evaluados durante el ciclo de cultivo de pepino bajo Invernadero con diferentes cubiertas. En el Cuadro 2, se observa este análisis para el periodo de 20 a 35 días después de la siembra. Se aprecia que existe diferencia significativa entre tratamientos para las variables Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) y Tasa de Asimilación Neta (TAN); siendo la película CIQA Pea la que presentó los valores más altos en ambas variables.

La TCR indica la acumulación de biomasa presente por unidad de biomasa producida (Borrego *et al.*, 2000). Según Aguilar *et al.*, (2005) la TCR a lo largo del ciclo de las plantas se comporta de manera decreciente, es decir con un periodo inicial mayor, seguido de un periodo más o menos constante, para posteriormente disminuir. Se observa entonces una correlación entre el proceso de crecimiento y el desarrollo de partes de la planta como flores y frutos, el cual según Barraza *et al.*, (2004) puede explicarse en términos del suministro y demanda, por la forma en que las sustancias para el crecimiento son trasladadas. Así, según Fogg (1967), el crecimiento de una parte de la planta consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministros adyacentes, estableciéndose un gradiente de concentración que parece producir el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican sustancias, o que las ceden con la edad. Cuanto más activo sea el crecimiento de una parte, tanto más irán a parar a ella los materiales disponibles, y tanto más se restringirá el crecimiento en otras partes.

Al ser la fotosíntesis el proceso responsable de la mayor producción de asimilados y con ello de un mayor rendimiento, la relación que existe entre la mayor TAN en las plantas bajo invernadero con película CIQA Pea y la capacidad de dicha población para absorber mayor cantidad de energía lumínica, depende según Barraza, *et al.*, (2004), de la efectividad para absorberla con el área de hojas que las plantas son capaces de sostener.

Este hecho se reflejó en la mayor área foliar de las plantas CIQA PEa al interactuar positivamente con una mayor captación de luz por unidad de área foliar.

Cuadro 2. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 20 a los 35 dds.

Tratamientos	20 a 35 días después de la siembra				
	TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	TAN ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	RAF ($\text{cm}^{-2} \text{ g}^{-1}$)	RPF (g.g)	AFE ($\text{cm}^{-2} \text{ g}^{-1}$)
CIQA Pea	0.213 A ^x	12.573 A	231.45 A	0.671 A	442.1 A
COMERCIAL	0.166 B	7.592 B	157.40 A	0.639 A	232.4 A
Significancia (R²)	0.5841	0.7114	NS	NS	NS
C.V. (%)	12.07	20.67	43.48	10.69	81.82

^x Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUNCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V= Coeficiente de variación.

Referente a las variables restantes no se observan diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo numéricamente el tratamiento de película COMERCIAL sigue presentando valores más bajos que las plantas bajo el tratamiento de película CIQA PEa.

En lo que respecta a los coeficientes de partición de biomasa, en la primera evaluación (20-35 dds), ambos invernaderos enviaron la mayor cantidad de carbohidratos producidos a las hojas con más del 60%, seguido por mayor cantidad enviados a los tallos y por último a las flores. Como se aprecia en el Cuadro 2, no hay una tendencia uniforme que pueda mostrar al menos en este periodo que alguna de las películas evaluadas sea superior a la otra en la distribución de la materia producida, lo que de alguna manera pudiera indicar que esta distribución se ve influenciada por la cantidad de radiación recibida (Figura 3) y el efecto que se ejerce en la temperatura del interior del invernadero respectivo.

Cuadro 3. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 20 a los 35 dds.

Tratamientos	20 a 35 días después de la siembra		
	CPBH	CPBT	CPBF
CIQA Pea	0.773 A ^x	0.209 A	0.018 A
COMERCIAL	0.681 A	0.219 A	0.006 A
Significancia (R^2)	NS	NS	NS
C.V. (%)	20.90	58.13	66.20

^x Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBH, CPBF = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, respectivamente.
 C.V.= Coeficiente de variación.

La figura 3 muestra que las películas evaluadas presentan bloqueo a la radiación PAR, transmitiendo la mayor cantidad de esta energía entre las 12 y 15 horas; sin embargo se nota también que la Película CIQA PEa transmite mayor cantidad al interior del Invernadero, con un valor de 75% de transmisión, 8% más que la película COMERCIAL, que presenta un valor de 67%. Al respecto Baille, (1998) menciona que las características ópticas del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación (espectro de distribución o proporción de radiación difusa) afectando a los cultivos en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y sus efectos morfogénéticos.

En la Figura 4, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura dentro de los invernaderos en el primer periodo de evaluación (20 a 35 dds). Ambos tratamientos evaluados registraron una temperatura por debajo de la registrada en el exterior, esto debido a que en los periodos iniciales evaluados se usó un sistema forzado de enfriamiento y ventilación. A las horas de máxima exposición a la radiación solar las temperaturas registradas en el interior de los invernaderos fueron de 26 °C en el invernadero con cubierta CIQA PEa y 28 °C en el interior del invernadero con cubierta comercial.

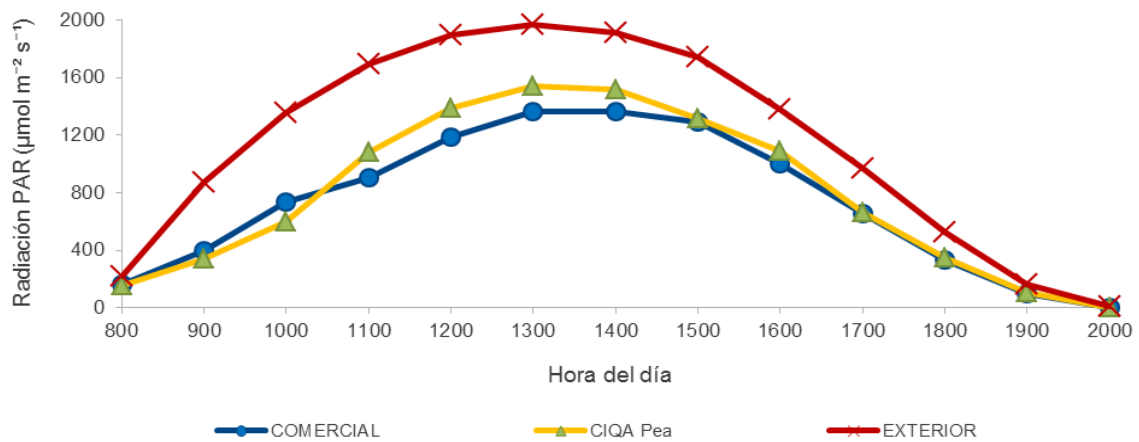


Figura 3. Comportamiento de la Radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35 dds.

De igual forma en la gráfica se puede observar que la temperatura después de las 6 pm se encuentra elevada, esto debido a que en esta época del año y el horario, existe radiación hasta cerca de las 8 pm.

Alpi y Tognoni (1999), mencionan que en relación con la temperatura de la atmósfera de un invernadero, las radiaciones más importantes son las infrarrojas cortas que pasan a través de los materiales de recubrimiento, y son las causales del calentamiento excesivo en un invernadero. Estas radiaciones son absorbidas por las plantas, por el terreno y otros materiales en el invernadero. Las radiaciones caloríficas infrarrojas en consecuencia por su longitud de onda, pueden encontrar aditivos al pasar a través del material de recubrimiento, contribuyendo a disminuir la temperatura de la atmósfera del invernadero.

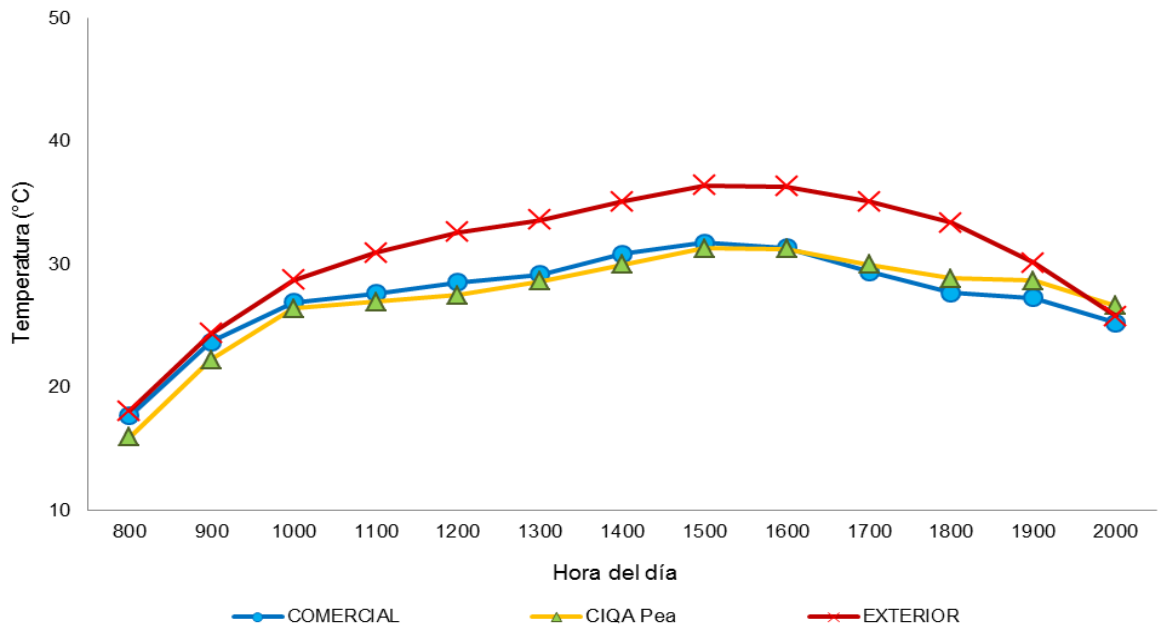


Figura 4. Comportamiento de la temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35 dds.

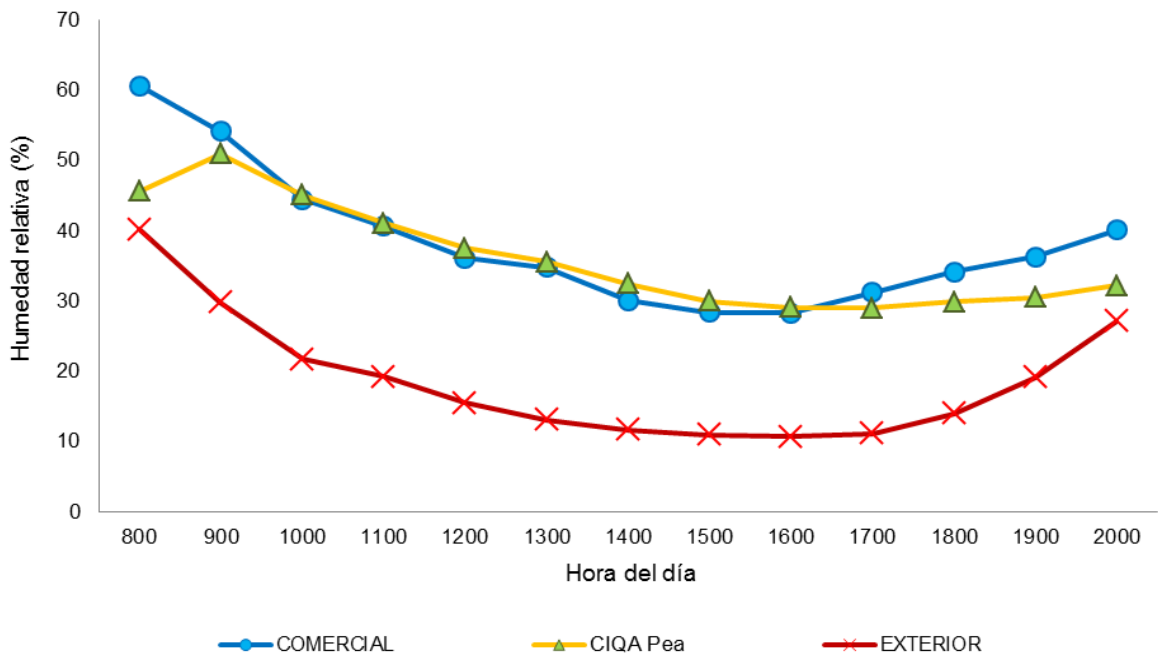


Figura 5. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 20 a 35 dds.

La humedad relativa en el primer periodo de los dos tratamientos evaluados es por encima de la humedad registrada en el exterior de los mismos (Figura 5). Tanto el invernadero con cubierta CIQA Pea y COMERCIAL registran valores por encima del 20% que los registrados en el exterior de los mismos, estas condiciones influyen en los incrementos de los índices de crecimiento de las plantas cultivadas bajo este tipo de condiciones, estos valores fueron alcanzados gracias a la implementación de un sistema de extracción del aire caliente del interior de tales invernaderos, en esta etapa inicial.

En su experimento con pepino bajo invernadero, Vasco (2003), menciona que los requerimientos de humedad relativa, son bastante elevados durante el ciclo vegetativo de este cultivo. La tendencia de la humedad relativa está íntimamente relacionada a la temperatura del aire.

Cuadro 4. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 35 a los 45 dds.

Tratamientos	35 a 45 días después de la siembra				
	TCR (g g ⁻¹ día ⁻¹)	TAN (g m ⁻² día ⁻¹)	RAF (cm ⁻² g ⁻¹)	RPF (g.g)	AFE (cm ⁻² g ⁻¹)
CIQA Pea	0.314 A ^x	16.624 A	242.24 A	0.748 A	441.8 A
COMERCIAL	0.192 B	11.427 A	174.17 A	0.687 A	232.5 A
Significancia (R²)	0.584	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	12.07	36.48	35.96	10.31	78.36

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUNCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V.= Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza para el periodo de 35 a 45 dds se observa diferencia entre tratamientos en la variable TCR, tal variable sigue con la tendencia al decremento de su valor, sin embargo, las plantas cultivadas bajo el invernadero con la cubierta CIQA Pea siguen teniendo valores más altos que las que están cultivadas en el

invernadero con cubierta COMERCIAL (Cuadro 3). Aunque en las demás variables como TAN, RAF, RPF y AFE los resultados no muestran significancia estadística, los valores de todas estas variables son considerablemente más altas en las plantas bajo la cubierta CIQA Pea, que en las plantas de la película COMERCIAL, lo que demuestra que la película desarrollada presenta buenas características ópticas que favorecen el desarrollo de las plantas y es competitiva con respecto a la película comercial. Se observó que las plantas en ambos invernaderos con las dos películas están en crecimiento activo ya que la TCR y la TAN son superiores en este período que en el anterior.

En lo respectivo a la repartición de biomasa a los diferentes órganos de la planta, se encontró un pequeño desvío de biomasa producida hacia los frutos, que aparecen en este periodo; sin embargo la tendencia observable es distinta, mientras que en las plantas cultivadas bajo invernadero con la película CIQA Pea, disminuye la cantidad de biomasa enviada a las hojas para destinarla a los frutos, en las plantas cultivadas bajo invernadero con película COMERCIAL se sacrifica un porcentaje de la biomasa que era enviada para el desarrollo de los tallos, cambiando el rumbo hacia la formación de frutos.

Cuadro 5. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 35 a los 45 dds.

Tratamientos	35 a 45 días después de la siembra			
	CPBH	CPBT	CPBF	CPBFR
CIQA Pea	0.703 A	0.250 A	0.020 A	0.023 A
COMERCIAL	0.693 B	0.250 A	0.015 A	0.011 A
Significancia (R^2)	0.6138	NS	NS	NS
C.V. (%)	1.90	6.29	33.28	47.94

*Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBH, CPBF, CPBFR = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, Frutos, respectivamente.
 C.V= Coeficiente de variación.

Con respecto a la radiación fotosintética incidente dentro de los invernaderos, como se observa en la Figura 6, los tratamientos experimentales presentaron bloqueo a la radiación PAR con respecto a la registrada en el exterior y comparado con el periodo anterior se observa una transmisión ligeramente menor. En el interior del invernadero con cubierta CIQA Pea se registró una transmisión de 68% a esta radiación PAR, lo que favoreció ligeramente el incremento de la temperatura en el mismo (Figura 10), que posiblemente la mayor radiación (6 % más que en la película comercial) y temperatura favoreció en mayores valores para las variables de TCR, TAN y CPBH como se nota en el análisis estadístico (Cuadro 3 y Cuadro 4); mientras que en el interior del invernadero con cubierta COMERCIAL se registró una transmitancia de 62% de la radiación PAR registrada en el exterior en las horas de máxima exposición, influyendo esto en una temperatura de aproximadamente un grado menos.

Con respecto a lo anterior Maroto (2008), menciona que a una temperatura adecuada, los fenómenos fisiológicos de la planta como fotosíntesis, respiración y transpiración son fuertemente influenciados; además de todos los procesos físicos y físico-químicos de la planta, como la permeabilidad celular, estabilidad enzimática y translocación de líquidos.

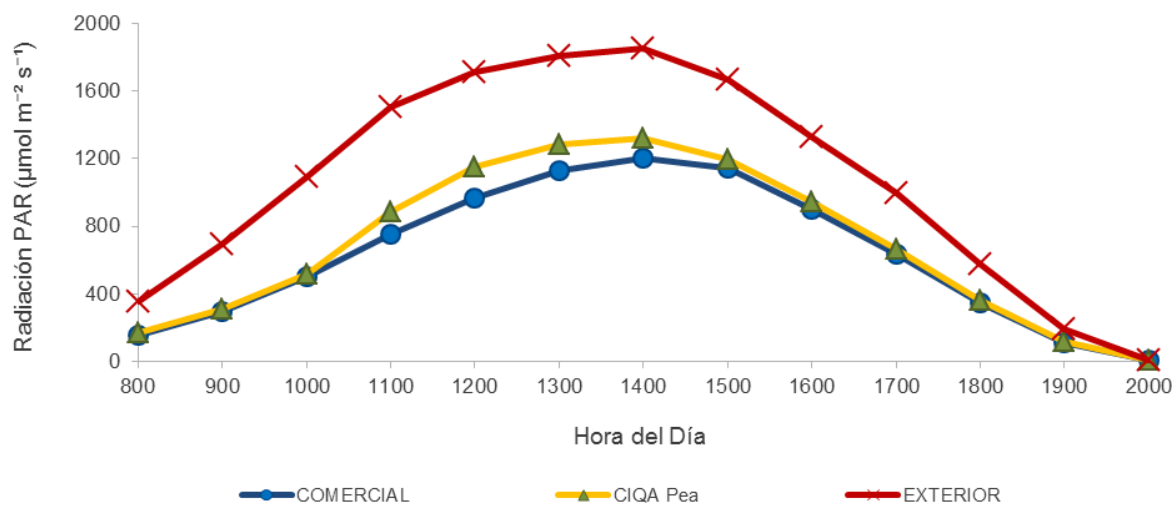


Figura 6. Comportamiento de la radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds.

En la Figura 7, se hace notar el comportamiento de la temperatura registrado en el periodo de 35 a 45 dds. Similar a lo presentado en el primer periodo de evaluación, los tratamientos presentan valores menores a los que se observan en el ambiente exterior (por el sistema de ventilación forzada), es también notable que después de las 8 pm se registraron temperaturas por encima de los 20 °C tanto dentro como fuera de los invernaderos, esto debido a que en este ciclo existe aún radiación solar a esta hora del día y también se guarda el calor acumulado durante el día.

Romero (2004), afirma que el factor térmico influye en la fisiología de las plantas a través de múltiples caminos y sus variaciones provocan modificaciones en la evolución de los procesos fundamentales, en las transformaciones a nivel celular, en el transporte de carbohidratos producidos, en la absorción de nutrientes y agua desde el suelo, en el desarrollo de los sistemas radicular y aéreo y los patrones de partición de biomasa, mayormente en los órganos cosechables.

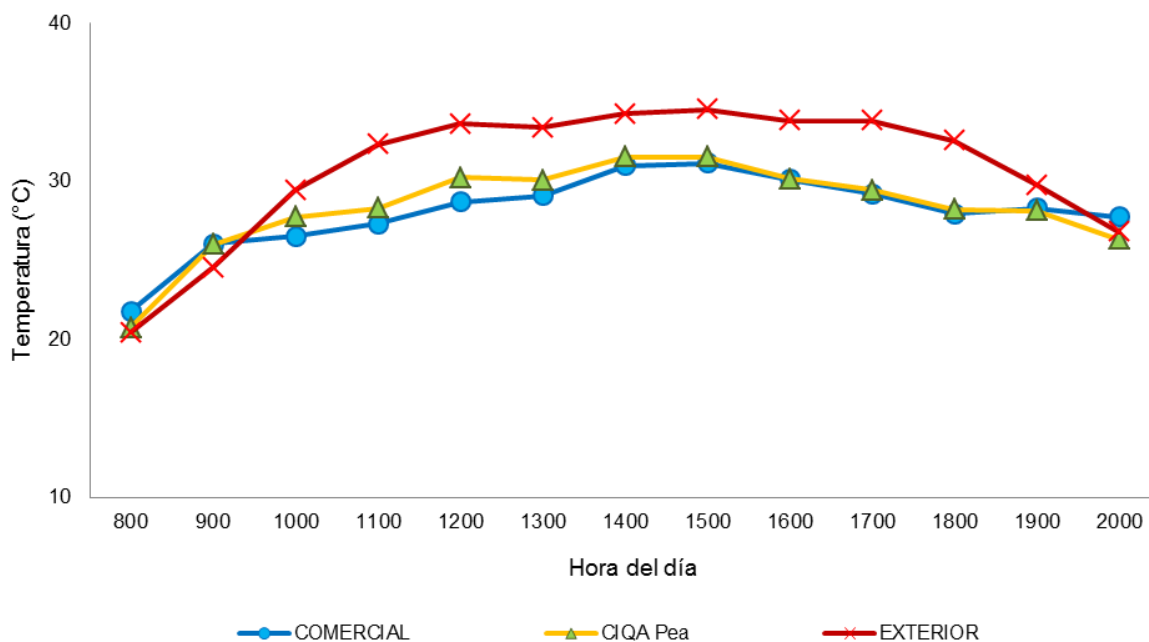


Figura 7. Comportamiento de la temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds.

En el periodo de 35 a 45 dds, la humedad relativa tiende a comportarse de manera similar al periodo anterior, presentándose valores mayores dentro de los dos invernaderos evaluados, comparados con el valor de humedad relativa registrada en el ambiente exterior durante todo el tiempo que se evaluó. También se puede observar que la humedad relativa fue mayor en el invernadero con película COMERCIAL con respecto al invernadero de la película CIQA Pea (Figura 8). Esto se debe a que en el invernadero con película COMERCIAL la radiación es un poco menor, así como la temperatura del ambiente y por lo tanto favorece la mayor humedad relativa, ya que la humedad relativa está estrechamente ligada a la radiación y temperatura.

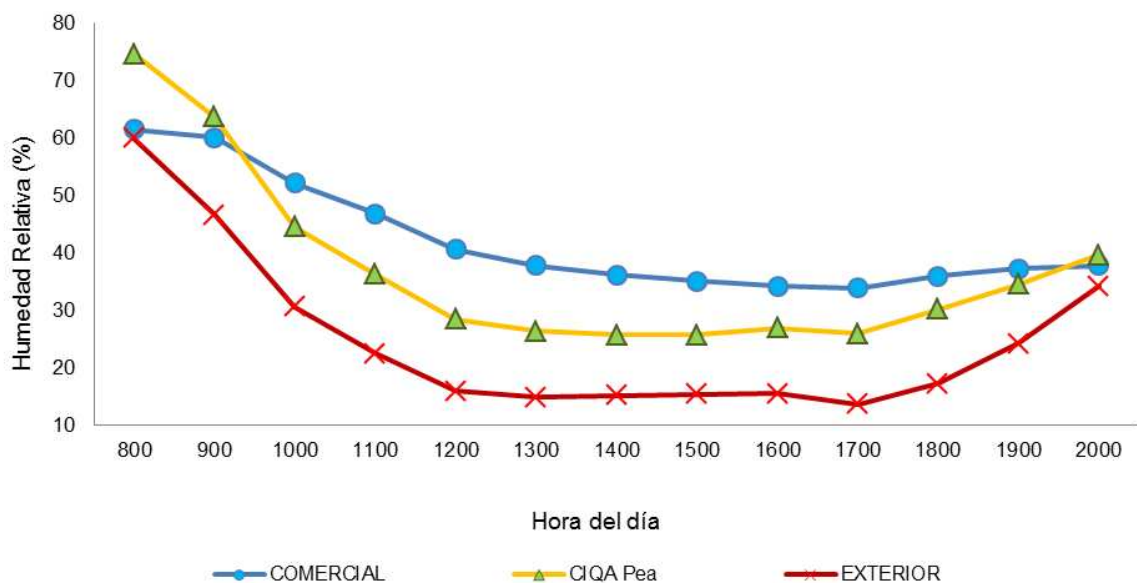


Figura 8. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 35 a 45 dds.

En el análisis estadístico y comparación de medias para los Índices de Crecimiento en el periodo de los 45 a 55 dds, (Cuadro 5) se observan diferencias significativas en la variable RPF, teniendo valores mayores las plantas cultivadas bajo la cubierta CIQA Pea. Además aunque no hay diferencia significativa entre tratamientos, se observa que la TCR, TAN siguen siendo mayores en las plantas de la película CIQA Pea, que en las plantas de la película Comercial. En esta etapa ya se observa un decremento en la TAN y TCR en comparación con los dos períodos anteriores evaluados, lo que muestra que las plantas ya están en plena producción y los carbohidratos son enviados ya a producción de fruto y que el desarrollo vegetativo ya inicia su estabilidad y decadencia en favor del rendimiento de fruto. También se observa que el índice de crecimiento del fruto es mayor en el tratamiento CIQA Pea que en el COMERCIAL.

Cuadro 6. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 45 a los 55 dds.

Tratamientos	45 a 55 días después de la siembra					
	TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	TAN ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	RAF ($\text{cm}^{-2} \text{ g}^{-1}$)	RPF (g.g)	AFE ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	IECFruto ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
CIQA Pea	0.156 A ^x	10.689 A	150.70 A	0.659 A	231.983 A	0.635 A
COMERCIAL	0.111 A	7.866 A	146.80 A	0.631 B	229.417 A	0.730 A
Significancia (R^2)	NS	NS	NS	0.8970	NS	NS
C.V. (%)	34.82	37.15	2.96	0.8453	2.94	89.78

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUNCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V= Coeficiente de variación.

En cuanto a partición de biomasa, en este período ya no se observa tanta diferencia entre las distribución de carbohidratos a las diferentes partes de la planta entre un tratamiento y el otro con respecto a los muestreos anteriores. Sin embargo se observa ligeramente hay mayor partición hacia hojas y frutos en las plantas del tratamiento CIQA Pea con respecto a las plantas del tratamiento COMERCIAL, esto de alguna manera está favoreciendo el incremento en el rendimiento del cultivo.

Cuadro 7. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 45 a los 55 dds.

Tratamientos	45 a 55 días después de la siembra			
	CPBH	CPBT	CPBF	CPBFR
CIQA Pea	0.571 A ^x	0.332 A	0.024 A	0.070 A
COMERCIAL	0.569 B	0.337 A	0.025 A	0.045 B
Significancia (R^2)	0.529	NS	NS	0.875
C.V. (%)	2.45	3.62	8.97	28.74

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBH, CPBF, CPBFR = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, Frutos, respectivamente.
 C.V= Coeficiente de variación.

En lo concerniente a la transmisión de la radiación PAR, los invernaderos evaluados siguen la misma tendencia, al presentar menor transmisión que en los periodos de evaluación anteriores (Figura 9). El invernadero con cubierta CIQA Pea presentó mayor transmisión en comparación al invernadero con cubierta COMERCIAL, transmitiendo 65% y 58%, respectivamente, de la radiación registrada en el exterior de los invernaderos en las horas de máxima exposición. Si se observa a través del tiempo una disminución en la transmisión de la radiación PAR por efecto principalmente de acumulación de polvo en la cubierta y por pérdida de las propiedades de los aditivos y cargas utilizados en la formulación de las películas. Cuando la disminución en la transmisión de la radiación PAR es muy significativa puede llegar a valores por debajo de los requeridos para el óptimo funcionamiento de las plantas y afectar negativamente el desarrollo y productividad de las plantas, esto va a depender también de las cantidades de radiación que se reciben en el lugar donde el invernadero está establecido y de los requerimientos de luz de los cultivos.

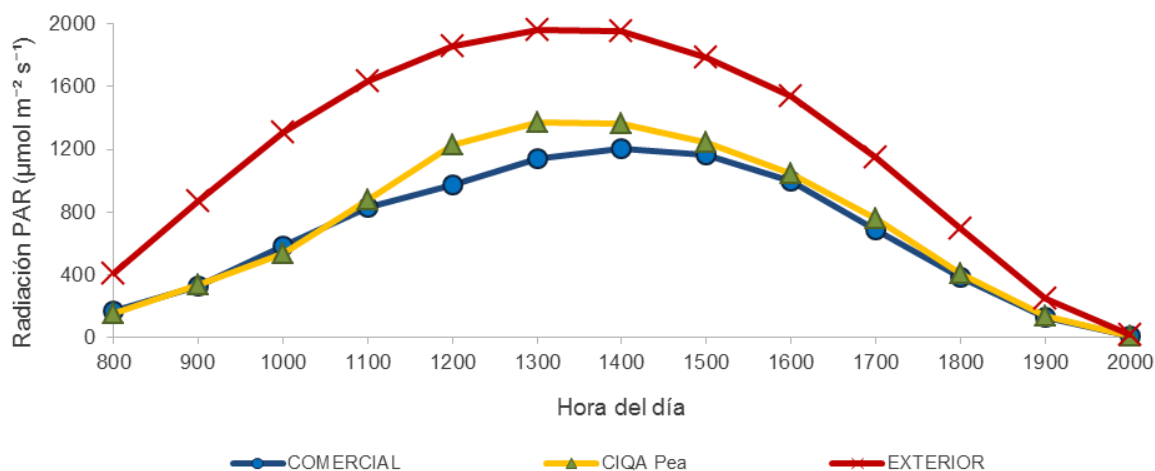


Figura 9. Comportamiento de la radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.

En la Figura 10, se muestra el comportamiento de la temperatura en el interior de los invernaderos con diferente cubierta, comparados con la temperatura exterior. Gracias al sistema de ventilación forzada que aún estaba implementado en los invernaderos, la temperatura de los dos tratamientos se conserva por debajo de la temperatura registrada en el ambiente externo a los invernaderos. Los valores de los tratamientos se conservan más o menos constantes, oscilando entre 25 y 30 ° C durante el periodo de tiempo evaluado.

Los niveles de temperatura que maximizan la producción se sitúan entre 16-20° C para el período nocturno y 22-30 ° C para el diurno. Sin embargo, normalmente divergen del óptimo económico debido a los elevados consumos de energía que ellos suponen, haciéndose necesario gestionar el aporte de calor mediante estrategias de clima, formación cultural de la planta y mercados de comercialización.

Un mayor control de la temperatura del invernadero va a determinar, además de un aumento de la producción, un aumento de la calidad del fruto (Lorenzo, 2000).

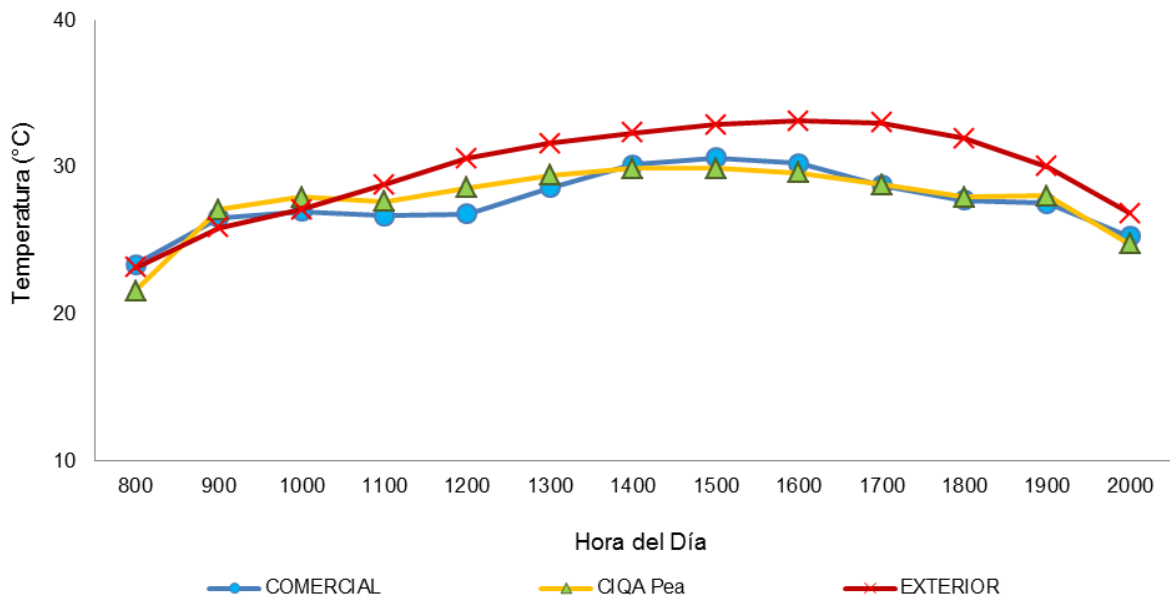


Figura 10. Comportamiento de la temperatura los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.

La humedad relativa tiende a comportarse de igual manera en este periodo (45 a 55 dds), que en los anteriores, con valores mayores que los encontrados fuera de los invernaderos, sin embargo se puede observar que solo entre las 8 y 10 horas se encuentran valores por encima del 50% de humedad relativa, conservándose después de las 11 a las 20 horas por debajo de 40% de humedad en ambos invernaderos (Figura 11). El invernadero con cubierta COMERCIAL se mantiene con valores mayores que los encontrados en los invernaderos con cubierta CIQA Pea, esto pudiera estar influenciado por la radiación y temperatura que se registra en cada uno de los invernaderos.

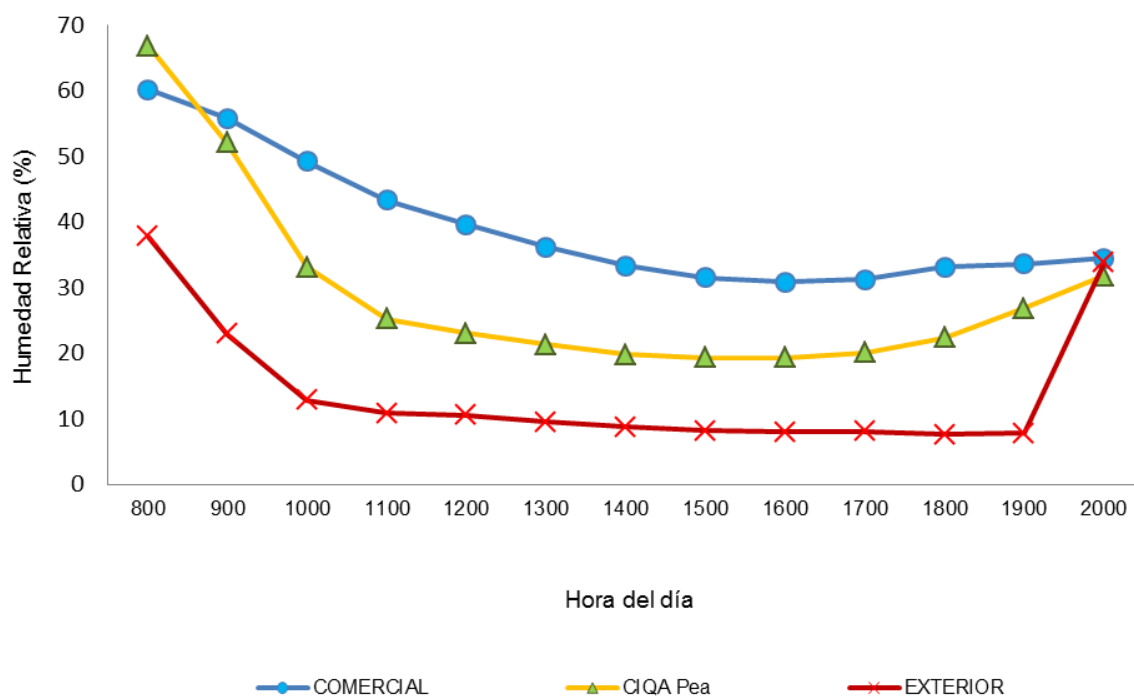


Figura 11. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 45 a 55 dds.

En el análisis estadístico realizado para los índices de crecimiento y coeficientes de partición de biomasa en el periodo de 55 a 65 dds, no se encuentra diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, no obstante es observable que la variable TCR sigue en decremento en comparación con los periodos evaluados anteriormente y la TAN se mantiene aún constante. Los índices son casi iguales en los dos tratamientos a excepción del índice de crecimiento de fruto, que aun cuando no hay significancia es considerablemente mayor en las plantas del invernadero con película CIQA Pea que en la película COMERCIAL lo que demuestra una mayor respuesta positiva en las plantas de la película CIQA Pea. (Cuadro 7 y Cuadro 8).

En cuanto a partición de biomasa (Cuadro 8) se puede observar que ya cuando el cultivo está en plena producción la proporción de hojas y tallo es mucho menor que en los períodos anteriores, incrementándose considerablemente la partición hacia frutos y ya prácticamente los valores de partición en todas las partes son casi iguales para las plantas de los dos tratamientos.

En este mismo periodo pero para la transmisión a la radiación fotosintéticamente activa, los tratamientos evaluados continúan bloqueando parte de la radiación, además sigue la tendencia a mayor bloqueo en comparación con los periodos antes evaluados, con 62% y 54% respectivamente (Figura 12).

Cuadro 8. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 55 a los 65 dds.

Tratamientos	55 a 65 días después de la siembra					
	TCR (g g ⁻¹ día ⁻¹)	TAN (g m ⁻² día ⁻¹)	RAF (cm ⁻² g ⁻¹)	RPF (g.g)	AFE (cm ² g ⁻¹)	IECFruto (g m ⁻² día ⁻¹)
CIQA Pea	0.107 A ^x	9.752 A	119.916 A	0.487 A	248.387 A	5.284 A
COMERCIAL	0.103 A	9.045 A	114.117 A	0.481 A	239.128 A	5.089 A
Significancia (R²)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	34.00	35.08	4.41	3.274	3.22	38.80

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUNCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V.= Coeficiente de variación.

Cuadro 9. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 55 a los 65 dds.

Tratamientos	55 a 65 días después de la siembra			
	CPBH	CPBT	CPBF	CPBFR
CIQA Pea	0.394 A ^x	0.233 A	0.009 A	0.385 A
COMERCIAL	0.379 A	0.225 A	0.007 A	0.364 A
Significancia (R^2)	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	9.41	7.51	71.36	13.62

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBT, CPBF, CPBFR = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, Frutos, respectivamente.
 C.V= Coeficiente de variación.

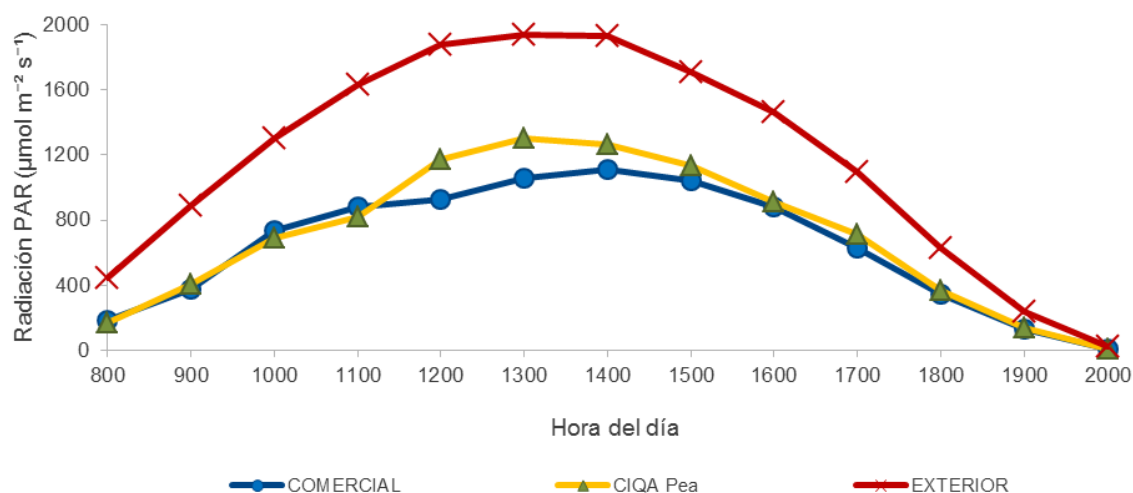


Figura 12. Comportamiento de la radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.

Díaz (2000), al comparar, en un estudio con películas plásticas para invernadero menciona que se debe tener el mayor porcentaje posible de transmisión de radiación fotosintéticamente activa hacia el interior del invernadero para maximizar la productividad de la cosecha de los cultivos establecidos. Al evitar la radiación directa, las cubiertas ayudarán a eludir las quemaduras en los cultivos y sombras, teniendo un efecto en cosechas más sanas y uniformes; al aunar termicidad, además de conseguir difusión y con ello una distribución más adecuada de radiación sobre las plantas y mayores temperaturas en el invernadero que ayudan a tener mayores y más precoces cosechas.

En el periodo de 55 a 65 dds, se observa un cambio en el comportamiento de la temperatura dentro de los invernaderos, pues inversamente a los periodos evaluados anteriormente, la temperatura dentro de los invernaderos es mayor que la encontrada en el exterior, el invernadero con cubierta CIQA Pea muestra 39 °C, 4 °C más que en el ambiente exterior, mientras que en el invernadero con cubierta COMERCIAL se muestran 7 °C más que en el exterior (42 °C), y 3 °C más comparado con CIQA Pea (Figura 13). Es importante mencionar que a pesar de que en el invernadero cubierto con la CIQA Pea el porcentaje de transmisión de radiación PAR es mayor que en el invernadero con la película COMERCIAL, la temperatura es menor lo que significa que es una película con características más refrescantes que tienen mayor regulación en el clima del invernadero y por lo tanto mejor respuesta agronómica del cultivo, como lo demuestran los índices de crecimiento.

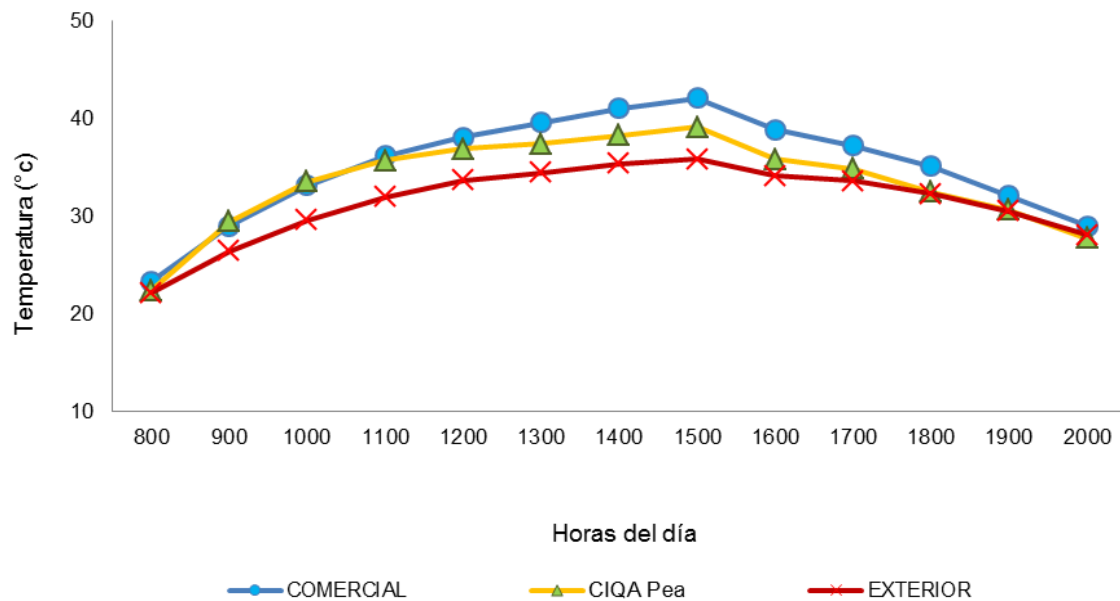


Figura 13. Comportamiento de la temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.

En la Figura 14, se nota como el comportamiento durante el periodo 55 a 65 dds de la humedad relativa se mantiene muy por debajo de lo óptimo para el cultivo de pepino, pues ambos tratamientos muestran valores por debajo de 30% de humedad relativa en las horas en las que se registra la mayor intensidad de radiación y mayores temperaturas, lo que termina afectando la actividad fisiológica de las plantas.

Caldari (2007), en su experimento con pepinos, menciona que el pepino es un cultivo con altos requerimientos de humedad relativa, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día entre 60 y 70%, y durante la noche del 70 a 90%.

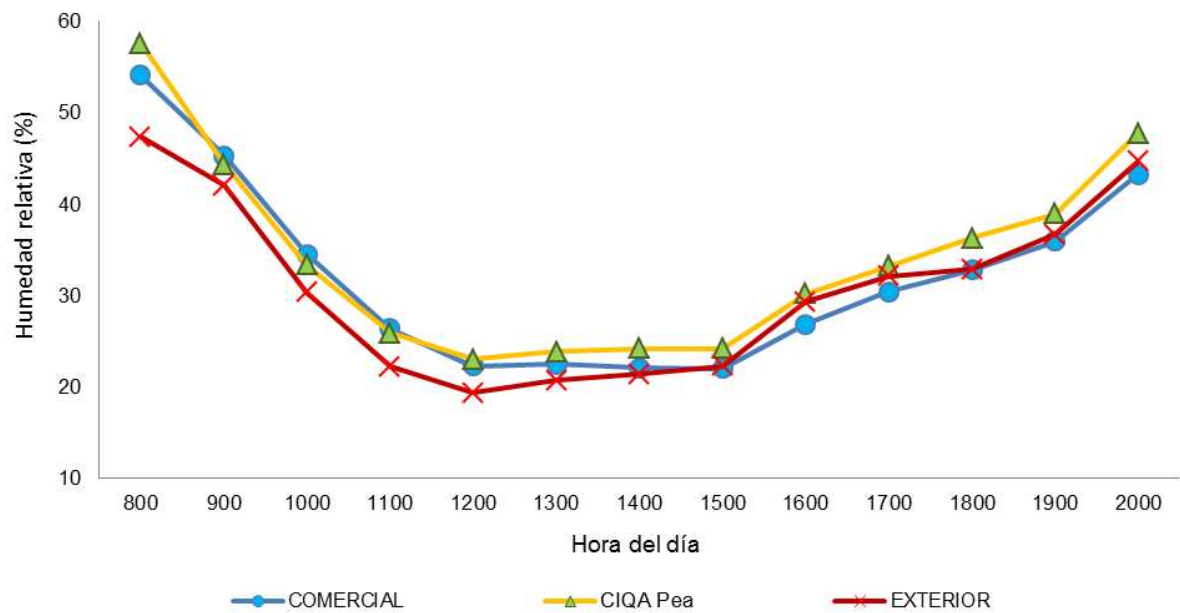


Figura 14. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 55 a 65 dds.

En el periodo de 65 a 75 dds se encontraron diferencias significativas en las variables TCR, TAN e IEC Fruto, según mostró el análisis estadístico y la comparación de medias (Cuadro 9). En este periodo los valores de TCR y TAN tendieron a conservarse más o menos igual a los del periodo anterior; sin embargo, las plantas cultivadas bajo el invernadero con cubierta CIQA Pea siguieron presentando valores más altos que las cultivadas bajo el invernadero con cubierta COMERCIAL. Referente a esto Sedano *et al.*, (2005), encontraron en el cultivo de calabacita que de los 48 a 62 dds, cuando ocurrió el desarrollo acelerado de frutos, la TCR del dosel tendió a mantenerse constante, pero después baja casi a cero a los 76 dds, coincidiendo con la etapa de senescencia foliar.

Cuadro 10. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 65 a los 75 dds.

Tratamientos	65 a 75 días después de la siembra					
	TCR (g g ⁻¹ día ⁻¹)	TAN (g m ⁻² día ⁻¹)	RAF (cm ² g ⁻¹)	RPF (g.g)	AFE (cm ² g ⁻¹)	IECFruto (g m ⁻² día ⁻¹)
CIQA Pea	0.105 A ^x	13.315 A	90.838 A	0.370 A	246.987 A	7.603 A
COMERCIAL	0.066 B	7.735 B	83.615 A	0.337 A	243.872 A	3.443 B
Significancia (R²)	0.806	0.8411	NS	NS	NS	0.6680
C.V. (%)	12.87	14.40	11.48	11.94	4.49	64.20

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V= Coeficiente de variación

En este periodo para las variables coeficientes de partición de biomasa no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, y la tendencia siguió de manera similar al periodo anterior en el que la mayor cantidad de biomasa distribuida fue hacia los frutos, y hacia los órganos vegetativos (hojas y tallos) se mantuvo más o menos igual (Cuadro 10). Al respecto Azofeifa y Moreira (2004), mencionan que en la curva general de crecimiento de las hortalizas se distinguen tres etapas; la primera es una fase inicial logarítmica, donde la planta joven cuenta con un área foliar y un sistema radical reducidos; la segunda, una fase vegetativa o exponencial donde el crecimiento es rápido y el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan; y la tercera es una fase de estabilización, donde después del inicio de la fructificación ocurre una disminución hasta estabilizarse.

Cuadro 11. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 65 a los 75 dds.

Tratamientos	65 a 75 días después de la siembra			
	CPBH	CPBT	CPBF	CPBFR
CIQA Pea	0.322 A ^x	0.219 A	0.005 A	0.452 A
COMERCIAL	0.296 A	0.203 A	0.005 A	0.413 A
Significancia (R²)	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	16.71	20.45	77.04	21.77

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBH, CPBF, CPBFR = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, Frutos, respectivamente.
 C.V= Coeficiente de variación.

El comportamiento de los tratamientos respecto a la transmisión de la radiación PAR en este periodo es similar a los periodos anteriores, con una tendencia al decremento en la transmisión (Figura 15). El invernadero CIQA Pea registró 59% de transmisión, lo que representa un 3% menos que en el periodo anterior, sin embargo presentó mayor transmisión y menor bloqueo que la cubierta comercial que registró un 50% de transmisión en este periodo, un 4% menos que en el periodo anterior. Estos valores denotan un gran decremento en la propiedad de su capacidad a ser permeables a la radiación PAR, lo que puede deberse a la intensidad de la radiación, al polvo acumulado en la superficie de la película o a la pérdida de esta propiedad con el paso del tiempo. Estas diferencias influyen directamente en los parámetros, pues a pesar de no ser estadísticamente significativos, el tratamiento CIQA Pea que presenta los valores mayores de radiación PAR en el interior, presenta valores numéricamente mayores en el total de parámetros.

Con respecto a lo anterior, Valladares y Brittes (2004), mencionan que la distribución espacial del follaje y la cantidad y calidad de radiación, determinan la absorción de la misma por el cultivo.

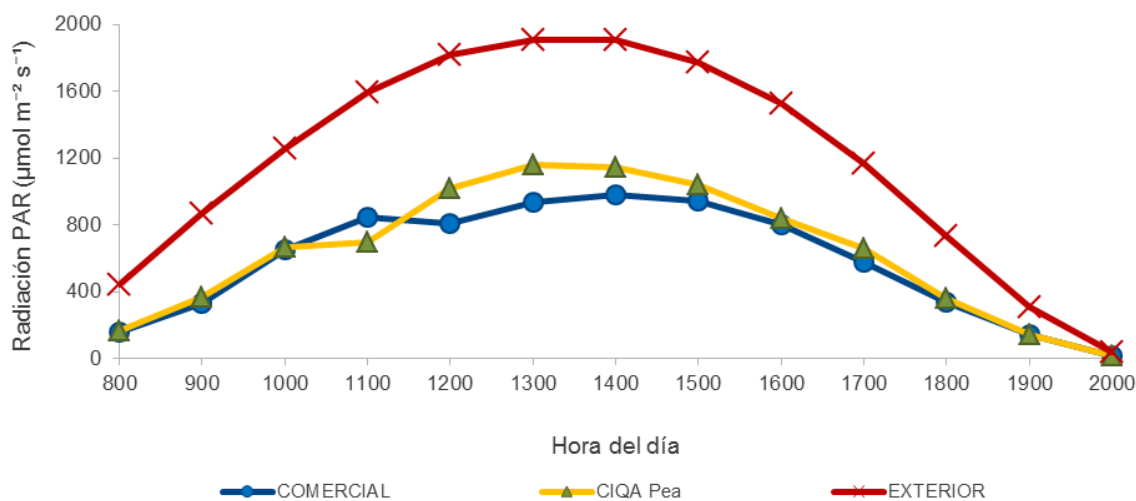


Figura 15. Comportamiento de la radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 dds.

En el periodo de 65 a 75 dds se registra un comportamiento, de temperatura, distinto al registrado en el periodo evaluado anteriormente pues, en las horas de máxima exposición a la radiación, en ambos invernaderos se registraron temperaturas por debajo de las registradas en el exterior de las mismas, es posible notar también que aunque el invernadero con cubierta CIQA Pea registró mayor transmisión de radiación PAR (Figura 15), conserva la temperatura con valores por debajo del invernadero con cubierta COMERCIAL (Figura 16).

Tognoni (2000), menciona que una de las mejores maneras para controlar temperaturas muy altas, es la utilización de películas que logren modular las condiciones ambientales internas del invernadero, por medio del bloqueo del exceso de radiación visible y bloqueo de la radiación infrarrojo cercano, además de una alta difusión de radiación visible.

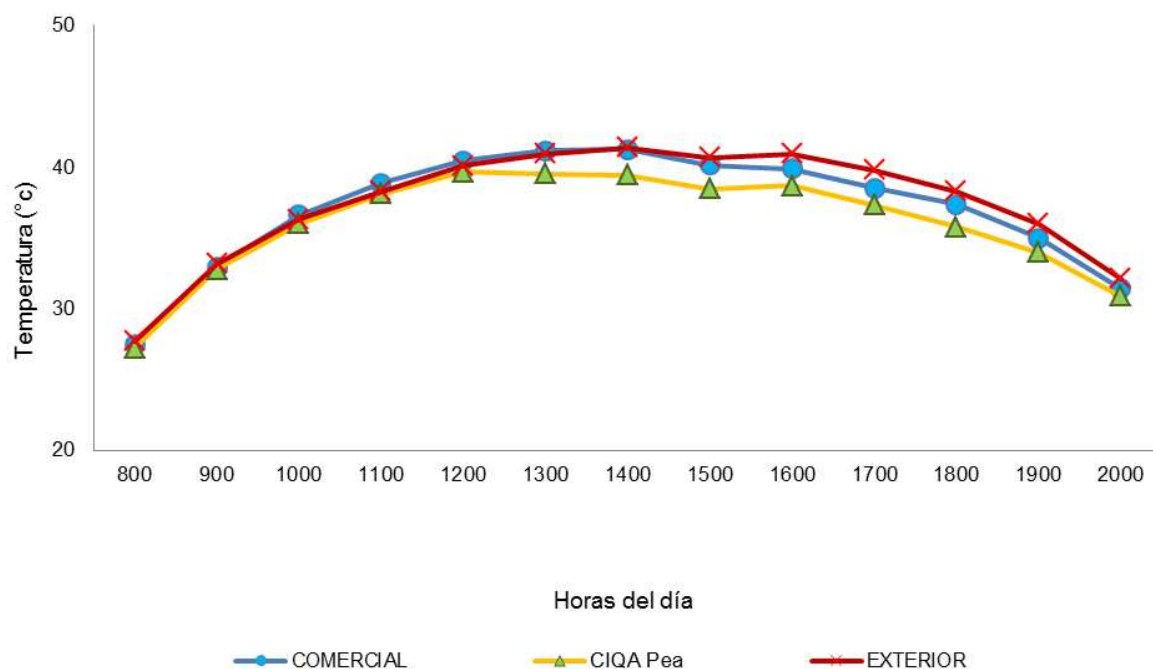


Figura 16. Comportamiento de la temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 DDS.

Respecto a la humedad relativa en este mismo periodo, se sigue presentando la misma tendencia que en los periodos anteriores, conservándose mayor humedad relativa en el invernadero con cubierta CIQA Pea que en el invernadero con cubierta COMERCIAL y en el exterior de los mismos; sin embargo los valores de ambos invernaderos siguen comportándose por debajo del valor óptimo de esta variable climática para el cultivo de pepino, con valores cada vez menores, en este periodo inmediatamente después de las 8 horas la humedad registrada es menor a 30%, conservándose así hasta las 20 horas (Figura 17).

Huertas (2008), menciona que la humedad relativa del aire dentro del invernadero es un factor climático que puede influir en alto grado el rendimiento de los cultivos. Es por esto que se deben mejorar y mantener las infraestructuras que permitan mejorar y mantener las condiciones necesarias para el desarrollo óptimo del cultivo, en conjunción con los demás factores ambientales (radiación, temperatura, etc.) que influyen en el rendimiento final del cultivo.

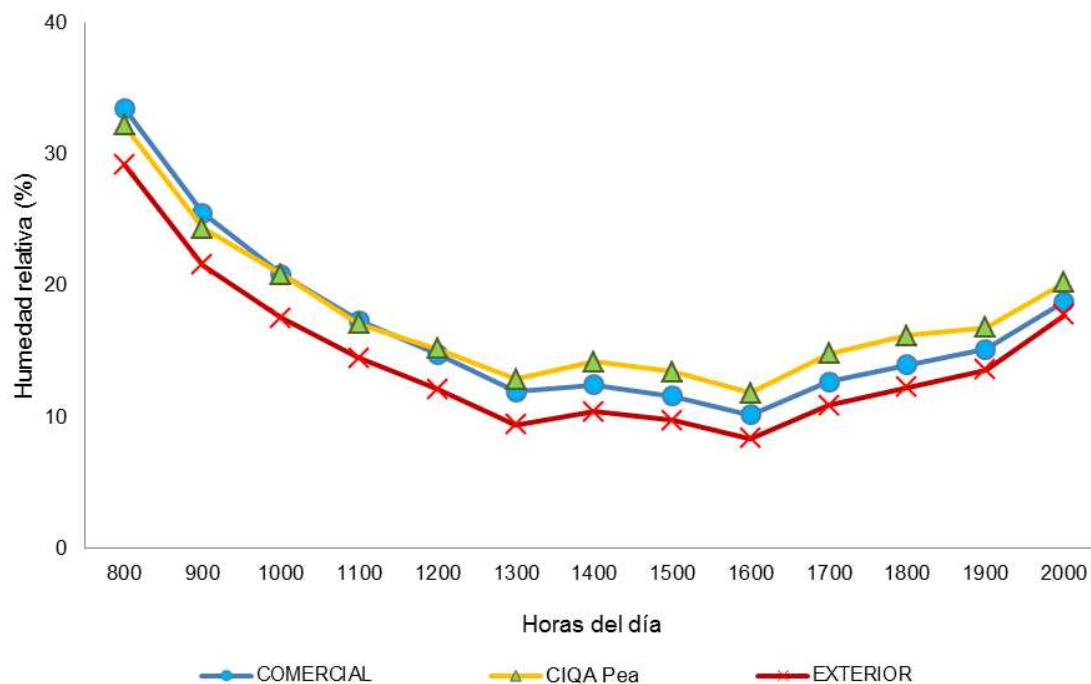


Figura 17. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 65 a 75 dds.

Los resultados del último periodo evaluado muestra diferencias significativas entre tratamientos en las variables de TCR, TAN e IECFruto, con valores mayores en las plantas cultivadas bajo el invernadero con cubierta CIQA Pea (Cuadro 11).

En lo referido a la TCR es posible observar que hubo una disminución drástica en los valores con valores cercanos hasta cero, al igual que esta, el total de variables presentó un decremento en sus valores cada vez más marcado.

Esta disminución se debe principalmente a que las plantas en ambos invernaderos ya están en pleno período de senescencia en donde el gasto de energía de mantenimiento de la planta es igual a la energía producida por la planta y lo poco que genera es enviado a la producción de fruto. También influye un poca la disminución en la transmisión a la radiación PAR que permitieron ambas películas evaluadas, pues el invernadero con cubierta de CIQA Pea registró una transmisión del 54%, menos del 20% que en los periodos evaluados al inicio del ciclo de cultivo, y el invernadero con cubierta comercial que registró un 49% de transmisión a la misma radiación, menos de la mitad del total de radiación PAR registrada en el exterior,

aunque en este caso la cantidad de micromoles (mínimos de 500, máximos de 1100 micromoles de PAR) que reciben las plantas aun cuando la trasmisión es de 50 % es más que suficiente para las necesidades del cultivo (Figura 18).

Cuadro 12. Comparación de medias de los Índices de Crecimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 75 a los 85 dds.

Tratamientos	75 a 85 días después de la siembra					
	TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	TAN ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	RAF ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	RPF	AFE ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	IECFruto ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
CIQA Pea	0.009 A ^x	5.119 A	74.261 A	0.341 A	231.677 A	2.261 A
COMERCIAL	0.003 B	0.610 B	71.320 A	0.309 A	217.573 A	2.666 A
Significancia (R^2)	0.5542	0.5329	NS	NS	NS	0.5634
C.V. (%)	122.16	137.36	9.59	8.99	5.63	73.18

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUNCAN, $p=0.05$).
TCR, TAN, RAF, RPF, AFE= Tasa de Crecimiento Relativo, Tasa de Asimilación Neta, Relación de Área Foliar, Relación de Peso Foliar y Área Foliar Específica, respectivamente.
C.V= Coeficiente de variación.

Con respecto a lo anterior Lee *et al.*, (2000), menciona que una correcta y adecuada distribución de radiación solar, entre los doseles, dará como resultado un trabajo más homogéneo del crecimiento y desarrollo del cultivo, por un aprovechamiento mejor de la radiación, aumento en la eficiencia fotosintética, menos respiración de mantenimiento y por tanto mayores rendimientos agronómicos.

Las variables de coeficiente de partición de biomasa no mostraron diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 12).

Durante el último periodo evaluado, la temperatura muestra un comportamiento diferente al mostrado en los periodos anteriores (Figura 19). El invernadero CIQA Pea muestra valores más o menos constantes entre las 12 y 17 horas (entre 32 y 35 °C), por encima de las registradas en el exterior hasta las 13 horas, pero por debajo a partir de esa hora, mientras que el invernadero con cubierta COMERCIAL muestra valores menores al exterior y a CIQA Pea en el total de horas evaluadas.

Cuadro 13. Comparación de medias de los Coeficientes de Partición de Biomasa de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan ($P>0.05$) de los 75 a los 85 dds.

Tratamientos	75 a 85 días después de la siembra			
	CPBH	CPBT	CPBF	CPBFR
CIQA Pea	0.326 A ^x	0.214 A	0.003 A	0.448 A
COMERCIAL	0.322 A	0.212 B	0.002 A	0.425 A
Significancia (R²)	NS	0.711	NS	NS
C.V. (%)	8.84	5.81	103.64	6.08

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, $p=0.05$).
 CPBH, CPBT, CPBF, CPBFR = Coeficiente de Partición de Biomasa de Hojas, Tallos, Flores, Frutos, respectivamente.
 C.V= Coeficiente de variación.

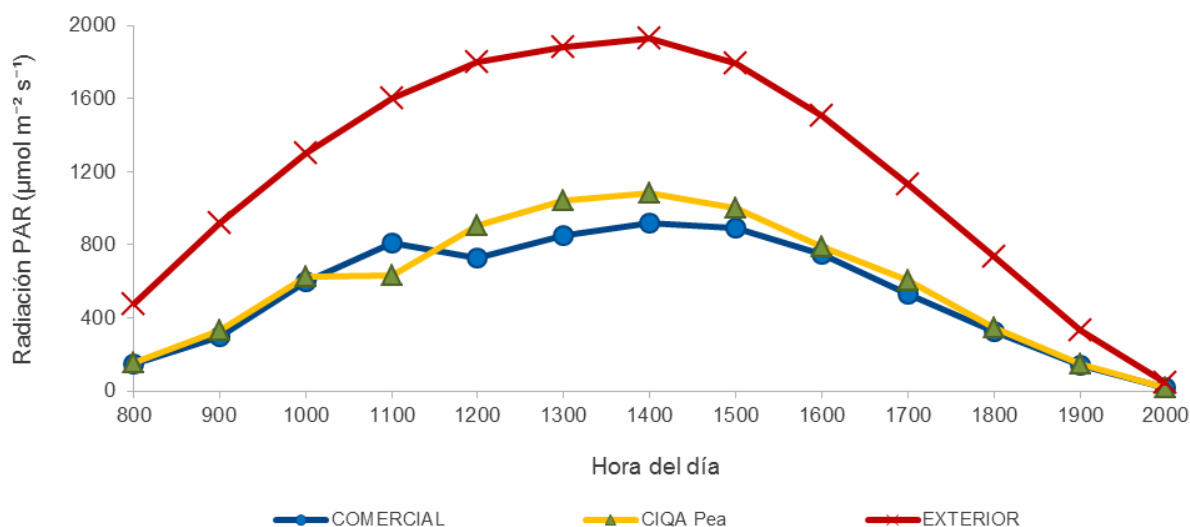


Figura 18. Comportamiento de la radiación PAR en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.

Según Langton *et al.*, (2000), es importante tener presente que dependiendo de la temperatura del lugar, las temperaturas que se pueden encontrar en el interior del invernadero podrán ser tan altas que puedan influir negativamente sobre la producción de los cultivos.

Aumentos en el aire también influyen en un aumento en las temperaturas foliares y estas dependerán de cada cultivo.

Para este último periodo, referente a la humedad relativa, se observa la misma tendencia, los valores de tratamientos se registran por encima del valor de registrado en el exterior (Figura 20); sin embargo la humedad relativa en el invernadero con cubierta COMERCIAL registró valores mayores que el invernadero con cubierta CIQA Pea en las primeras horas del día con valores mayores casi del 10%, comportándose inversamente después de esa hora, es decir, CIQA Pea presentó valores mayores que la película COMERCIAL, lo que concuerda con el comportamiento de la temperatura en los mismos (Figura 19), a medida que aumenta la temperatura, la humedad relativa disminuye.

Jaimez *et al.*, (2005), al evaluar las condiciones microclimáticas en invernadero menciona que los valores más bajos de HR se registraron a las 14 horas coincidiendo con las máximas temperaturas y radiaciones registradas.

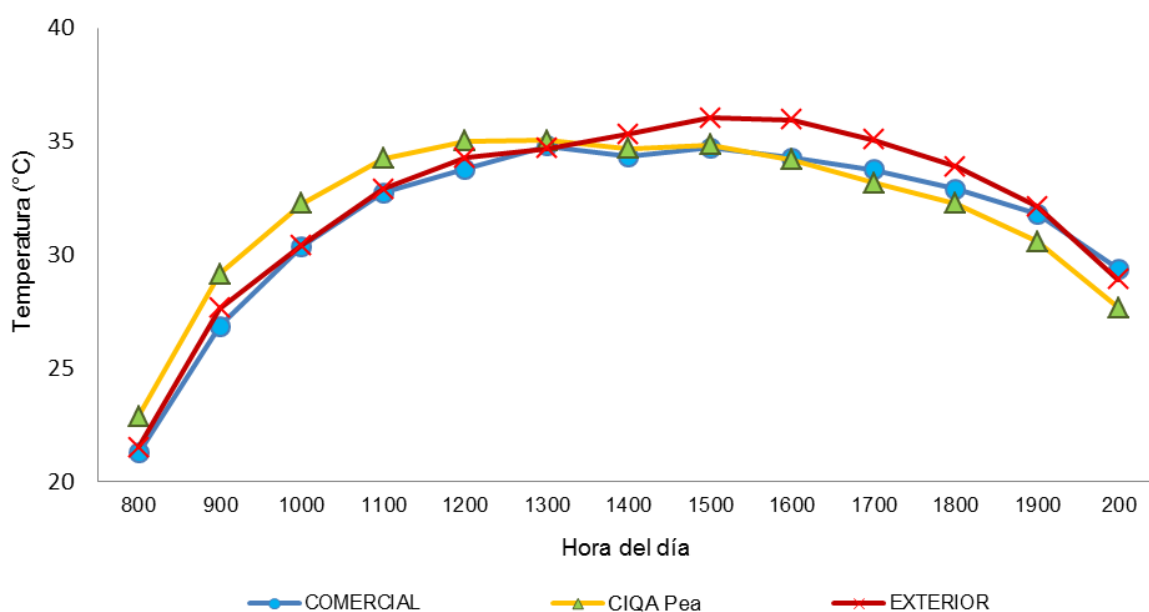


Figura 19. Comportamiento de la temperatura en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.

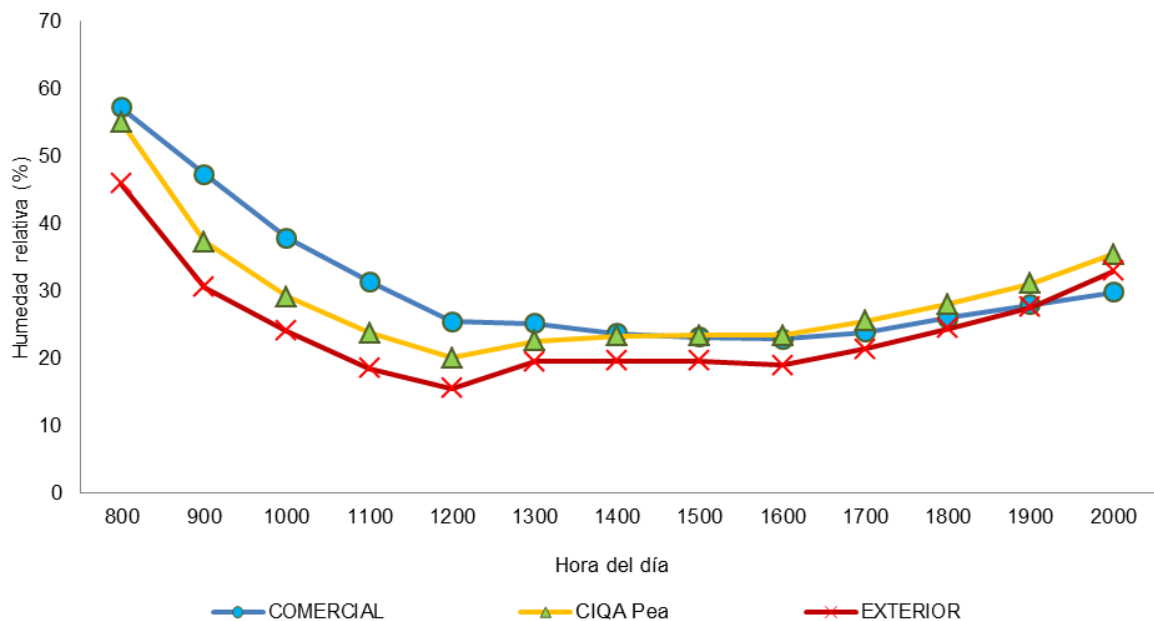


Figura 20. Comportamiento de la humedad relativa en los Invernaderos con películas de diferentes propiedades de los 75 a 85 dds.

Referente al rendimiento y número de frutos, en el Cuadro 13, se aprecia que no hay diferencia significativa estadística en ninguno de los componentes del rendimiento entre los tratamientos. Sin embargo se nota que numéricamente igual que para las demás variables, el rendimiento y número de frutos de las plantas cultivadas bajo el invernadero con cubierta CIQA Pea los valores son mayores que las cultivadas en el invernadero con cubierta COMERCIAL. (Cuadro 13). Esto concuerda totalmente con los resultados de los índices de crecimiento, ya que durante todo el desarrollo del cultivo las tasas de crecimiento, las razones de peso foliar y área foliar, así como área foliar específica fueron mayores en las plantas del tratamiento CIQA Pea lo que se tradujo en mayor rendimiento, demostrando que la relación entre mayor radiación y mayor área foliar y tasas de crecimiento influyen directamente en mayores rendimientos del cultivo.

Cuadro 14. Comparación de medias de las variables de Rendimiento de un cultivo de pepino bajo condiciones de Invernadero con películas de diferentes propiedades, mediante una prueba de Duncan con un nivel de significancia de 0.05.

Tratamientos	Número de Frutos		Rendimiento	
	Frutos planta ⁻¹	Frutos ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹
CIQA Pea	8.3 A ^x	214919 A	2.80 A	72883 A
COMERCIAL	7.8 A	202307 A	2.50 A	67087 A
Significancia (R²)	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	10.2	10.25	15.14	15.13

^xPromedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DUCAN, p=0.05).
C.V.= Coeficiente de variación.

V. CONCLUSIONES

El crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino puede comportarse de diferente manera si se somete a invernaderos cubiertos con películas con diferentes propiedades ópticas.

La transmisión de la radiación PAR al interior de los invernaderos tiene un efecto directo en el comportamiento de la temperatura dentro del mismo, es decir, a medida que aumenta la radiación, también aumenta la temperatura dentro del invernadero, a su vez este aumento en la temperatura se ve reflejado en un efecto directo en la humedad relativa, puesto que a medida que la temperatura es mayor, la humedad disminuye. Las condiciones microambientales creadas dentro del invernadero experimental fueron producto de un mayor porcentaje de radiación, una mayor temperatura pero similar humedad relativa las cuales indujeron un mayor crecimiento foliar y la eficiencia para producir un mayor número de frutos. Esto permitió que el cultivo de pepino tuviera mayor rendimiento y producción; si bien es cierto que las condiciones de radiación difusa fueron mayores en el invernadero comercial, las condiciones de transmisión de radiación fueron menores, lo que provocó que las condiciones de temperatura y humedad relativa se comportaran de manera menos favorables para el cultivo, es decir, la película plástica para invernadero probada CIQA Pea permitió la entrada de mayor radiación solar y funcionó mejor en el crecimiento y rendimiento de pepino.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, L.; J. Escalante; L. Fucicovsky; L. Tijerina y E. Mark. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población de girasol. *Terra Latinoamericana* 23 (3): 303-310.
- Alpí, A. y F. Tognoni. 1999. Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica. 3 edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343 p.
- Alvarado, P. y G. Urrutia. 2003. Invernaderos. Materiales, tipos, zonas aptas, tendencias e innovaciones. Biblioteca virtual. *Revista el Agroeconómico*. Pp 121-132.
- ASERCA. 1998. Claridades agropecuarias. El pepino de Sinaloa, calidad y exportación. *Revista Mensual*. 60: 3-16.
- Azofeifa, A. y M. Moreira. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annum* L. var. Hot), en Ajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28 (1): 57-67.
- Baille, A. 1998. Energy Cycle In: "Greenhouse Ecosystems". Stanhill, G., Enoch, H.Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam. Pp 265-286.
- Barraza, F.; G. Fischer y C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle de Sinú, Medio, Colombia, *Agronomía Colombiana*. 22 (1): 81-90.
- Benavides, A. 1997. Reporte para vivero Tanaquillo 1996. Monitoreo y resultados experimentales. Frexport, S. A de C. V. Grupo Bimbo. Zamora, Michoacán, México.
- Benavides, A. 1998. Agropásticos. Control microambiental, control metabólico y morfogénesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 221 pp.
- Benavides, A. y H. Ramírez. 2002. Respuesta de las plantas a la radiación electromagnética. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 147 pp.
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fl. USA. 223 p.

- Borrego, F.; J. Fernandez; A. Lopez; V. Parga; M. Murillo y A. Carvajal. 2000. Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11: 145-149.
- Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: from Physical processes to a dynamic model. Ph. D. Dissertation. Agricultural University. Wageningen. Holanda. 567 pp.
- Bretones, C.F. 1991. Producción de Hortalizas en Invernadero. Conferencia Internacional sobre Plásticos en la Agricultura: Proyección y Usos en zonas Áridas. Saltillo, Coahuila, México. Pp 46.
- Caldari, J.P. 2007. Manejo de la luz en invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de Hortalizas. I Simposio Internacional de Invernaderos. México, D.F. Pp 1-5.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp 462.
- Cébula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *ActaHort.* 412: 321-322.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2003. Guía técnica de pepino *Cucumis sativus*. Guía técnica No. 17. La Libertad, El Salvador.
- Cerrato, M. A. 2007. Fundación para la Innovación Agraria. Boletín de hortalizas. 3: 1-2.
- Cols, J. 2003. Diseño de un cobertizo, umbráculo y un laboratorio para el núcleo Héctor Ochoa Zuleta. Tesis de licenciatura. Departamento de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Cabudare, Venezuela.
- CNCP (Centro de Normalización y Certificación de Productos, A.C.). 2006. Norma mexicana NMX-E-114-CNCP-2006. Película de polietileno de baja densidad tratada para usarse en la intemperie, en invernaderos y macrotúneles-especificaciones. Diario Oficial de la Federación. Naucalpan de Juárez, México.
- Day, W. y B. J. Bailey. 1998. Physical principles of microclimate modification. *Ecosystems of the World*. Springer edition. New York, USA. Pp 71-101.

- Del Castillo, J.; M. Astiz; A. Uribarri; G. Aguado y S. Sábada. 2010. Plásticos fotoselectivos antiplagas. Nuevos plásticos en invernadero. Navarra Agraria. España.
- Díaz, S.T. 2000. Plásticos, cubiertas a medida para invernaderos. La industria del invernadero. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp: 138-143.
- Espí, E. y Y. García. 2009. Invernaderos de plástico. Fundación Cotec para la innovación tecnológica. Primera edición. Madrid, España. Pp 34-37.
- Fargas, J. 1985. Conceptos básicos sobre el análisis del crecimiento de las plantas. Conceptos metodológicos sobre investigación y desarrollo de tecnología para sistemas de producción de cultivos. Editorial del Cardo. Chile. Pp 120.
- Figuroa 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.
- Fogg, G. E. 1967. El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Buenos Aires, Argentina. Pp 327.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2ª. Edición. Universidad Autónoma de México. México, D.F. Pp 13, 34-36.
- Gómez, C.; C. Buitrago; M. Cante y C. Huertas. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para consumo fresco y para la industria. Revista Comalfi. 26: 42-55.
- Hernández, J.; I. Escobar y N. Castilla. 2001. La radiación solar en los invernaderos mediterráneos. Horticultura 157: 1-9.
- Hollingsworth, O. F. 1981. The place of potatoes and other vegetables in the diet in vegetable productivity. Editorial Machillan. London, England. 137 pp.
- Hosseini, S. S.; Carapetian, J. y J. Khara. 2009. Greenhouse Effect: The glass walls and glass ceiling of a greenhouse trap the sun's heat, making the structure very hot inside. Tubitak 35 (11): 69-77.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. Revista Horticultura 205: 52-54.

- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwinhyman. London, Inglaterra. 112 pp.
- Jaimez, R.; R. Da Silva; A. D. Aubeterre; J. Allende; F. Rada y R. Figueiral. 2005. Variaciones microclimáticas en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annum*). *Agrociencia* 39: 41-50.
- Langton, F; J. S. Horridge y P. J. C. Hamer. 2000. Effects of the glasshouse environment on leaf temperature of pot *Chrysanthemum* and *Dieffenbachia*. *ActaHorticulturae* 534: 75-83.
- Lee, D. W. y S. F. Oberbauer; P. Johnson. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany*. 87: 447-455.
- Lorenzo, P. 2000. Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos en calefacción de invernaderos en el sudeste español. *Caja rural*. Almería, Espeaña. Pp: 11-13.
- Martínez, M. 2003. Estructura de costos para la Producción de Hortalizas en Invernadero de la Cuenca del Río Reventazón. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica.
- Maroto, J. V. 2000. Invernaderos: Aspectos generales. *Elementos de Horticultura General*. Especialmente aplicada al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Manrique, L. A. 1990. Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron. J.* 82 (5): 881-886.
- Maroto. J. V. 2008. *Elementos de horticultura general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp 481.
- Montero, J. I.; A. Antón; J. Hernández y N. Castilla. 2001. Direct and diffuse light transmission of insect proof screens and plastic films for cladding greenhouses. *ActaHorticulturae (ISHS)* 559: 203-210.

- Montoya, M. I y J. G. G Brindis. 2001. 25 mil hectáreas de cultivo bajo invernadero. Informe especial: cierre de temporada 1999-2001. Hortalizas, frutas y flores. 28: 14-20.
- Muñoz, R. J. J. y J. Z. Castellanos. 2003. Manual de producción hortícola en invernadero. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). México. Pp 211.
- Olalde, V.; J. Escalante; P. Sánchez; L. Tijerina; A. Mastache y E. Carreño. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población de clima cálido. Terra 18: 313-315.
- Oyervides, C. M. S. 2004. Producción de pepino en cultivo sin suelo bajo condiciones de invernadero. Caso de estudio. Especialización en Química Aplicada. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.
- Quezada, M. M. R. 1997. Producción en Invernadero. Curso Nacional de Plásticos en la Agricultura. Coordinación de Agronomía. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 35 pp.
- Quezada, M. M. R. 2001. Modelo Reológico para el Entrecruzamiento de Polietileno Mediante Propiedades Mecánico Dinámicas. XXII Encuentro Nacional de la AMIDIQ Mazatlán, Sin. May. 1-4.
- Rabinowitch, H. D.; David, B. y M. Friedmann. Light is essential for Sunscald induction in *Cucumber* and *Pepper fruits*, whereas heat provides protection. *Scientia Horticulturae* 29: 21-29.
- Radford, P. 1967. Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Science*. 7 (3): 171-175.
- Riaño, G. 1992. Diseño arquitectónico y cálculo de climatización de un invernadero. *Forestales*. 3 (5): 40.
- Robledo, P. F. y V. Martín L. 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Editorial Mundi-Prensa. España. Pp 534.
- Romero, E. R. 2004. Dinámica de la brotación y del crecimiento inicial de la caña de azúcar. Efectos de factores intrínsecos, ambientales y de manejo. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Tucuman.

- Tucuman, Argentina.
- Sedano, C. G.; H. V. A. González; E. M. Engleman y V. C. Villanueva. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, julio-diciembre. México. 11 (2), 121-129.
- Serrano, C, Z. 1990. *Técnicas de Invernadero*. PAO suministros gráficos S.A. Sevilla, España. Pp 346.
- Serrano, C. Z. 1994. *Construcción de invernaderos*. Tercera edición. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. Pp 499.
- SIACON. 2006. *Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, 1998 - 2005*. México, D.F.
- Soler, A. 2010. Aplicación de los plásticos antiplagas en los invernaderos hortícolas. *Agrobío S. L. Horticom News.*, Periodico digital sobre la industria y el comercio hortícola: frutas, hortalizas, flores y plantas de vivero.
- Smith, H. 1982. Light Quality, Photoreception and Plant Strategy. *Plant Physiology*. 33:481-518.
- Tognoni, F. 2000. Temperatura. Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). Guadalajara, Jal., México. Pp 12-27.
- Tukey, R.B. y E.L. Schoff. 1963. Influence of Different Mulching Materials on the Soil Environment. *Proc. Amer. Soc. HorticultureSciences* 82:68-76.
- Valladares, F. y D. Brittes. 2004. Leaf phyllotaxys: does it really affect light capture. *PlantEcology* 174: 11-17.
- Vasco, M. 2003. El cultivo de pepino bajo invernadero. *Técnicas de producción en cultivos protegidos II*. Cajamar. Almería, España. Pp: 691-722.
- Villalobos, R. C. 2001. *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales*. Editorial UCR. Costa Rica. 287 pp.
- Wittwer, S. H. 1993. World-wide use of plastics in Horticultural production. *HortTechnology* 3: 6-19.
- Zabeltitz, C.V. 1998. Greenhouse structures. In: "Greenhouse Ecosystems". Stanhill, G., Enoch, H.Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam. Pp 17-69.