

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
DEPARTAMENTO DE PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA**



**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE PELÍCULAS PARA
INVERNADERO FORMULADAS CON NANOPARTÍCULAS DE
ÓXIDO DE ZINC**

**PRESENTA:
Crispín González Argandar**

TESIS

**PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROPLASTICULTURA**

**Dr. Marco Antonio Arellano García
ASESOR**

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO,

OCTUBRE DE 2010.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA**



TESIS

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE PELÍCULAS PARA INVERNADERO
FORMULADAS CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC**

Presentada por:

Crispín González Argandar

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA**

Asesorado por:

Dr. Marco Antonio Arellano García

SINODALES

M.C. Rosario Quesada Martin

Dra. Hortensia Ortega Ortiz

M.C. Adrián Méndez Prieto

SALTILLO COAHUILA MÉXICO,

OCTUBRE DE 2010.

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental, así como en la Parte de Resultados y Discusión de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 13 de Octubre de 2010.

Crispín González Argandar

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado para realización de mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por permitirme realizar mis estudios de posgrado dentro del programa de Maestría en Agroplasticultura.

Al departamento de Agroplásticos y cada uno de sus integrantes, por el apoyo brindado durante mi estancia en la institución.

Al Dr. Marco Antonio Arellano García, por la confianza brindada para realizar este trabajo de tesis bajo su asesoría y supervisión, para que la investigación se realizara de la mejor manera posible.

A la Dra. Graciela Morales, por la aceptarme dentro del proyecto: COAH-2008-CO8-2-104092, FOMIX, Coahuila, titulado: "Empleo de nanopartículas cerámicas y metálicas en el desarrollo de formulaciones para cubierta de invernadero".

Un agradecimiento especial a la memoria del M.C. Boanerges Cedeño Rubalcaba, con el que iniciará este proyecto de investigación, así como por la amistad y confianza mostradas hacia mi persona en su momento.

A la M.C. Juanita Flores Velásquez y la M.C. Rosario Quesada Martín, por el apoyo brindado de su parte durante mi estancia en el CIQA.

A la Dra. Hortensia Ortega Ortiz y al M.C. Adrian Méndez Prieto, por la revisión del trabajo escrito.

A todos y cada uno de los integrantes de mi familia, por el cariño y apoyo brindado durante la realización de mis estudios.

A mis compañeros y amigos, por su amistad y por todas las experiencias de vida que en su momento llegamos a compartir.

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.
Un esfuerzo total es una victoria completa.”
(Mahatma Gandhi)*

Con mucho cariño y respeto dedico este trabajo a mis padres:

A la Sra. Francisca Argandar Iturbide

Al Sr. Eusebio González Arenas

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
ÍNDICE	<i>iii</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>viii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>ix</i>
RESUMEN	<i>xiv</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Producción de cultivos en ambientes protegidos	1
1.2 Protección de cultivos mediante películas plásticas	2
1.3 Nueva tendencia en la formulación de películas plásticas para invernadero	3
1.4 Objetivos	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Formulaciones clásicas de películas para invernadero	6
2.2 Nuevas formulación de películas para invernadero	7
2.2.1 Película anti-insectos	7
2.2.2 Películas refrescantes o películas frías	8
2.2.3 Películas térmicas	9
2.2.4 Películas fluorescentes	10
2.2.5 Formulación de películas con nano partículas	10
2.3 Propiedades ópticas de películas plásticas para invernadero	12
2.3.1 Opacidad	12
2.3.2 Transmitancia	13
2.3.3 Difusión	14
2.4 Propiedades mecánicas de películas plásticas para invernadero	15
2.4.1 Resistencia al impacto	15
2.4.2 Resistencia a la tensión y elongación	16
2.4.3 Envejecimiento acelerado	17

2.5	Influencia de los factores ambientales en el desarrollo y rendimientos de los cultivos	18
2.5.1	Efecto de la radiación total	18
2.5.2	Radiación fotosintética activa	19
2.5.3	Radiación difusa	20
2.5.4	Temperatura	21
2.5.5	Humedad relativa	23
2.5.6	Concentración de CO ₂	23
2.5.7	Déficit de presión de vapor	24
2.6	Influencia de las películas plásticas en el desarrollo y rendimiento de los cultivos	25
2.7	Modificación del ambiente en el interior de los invernaderos utilizando películas plásticas con diferentes características	25
2.8	Efecto de la radiación ultravioleta en la vida útil de las películas para invernadero	26
2.9	Descripción de los índices de crecimiento	27
2.9.1	Tasa de asimilación neta (TAN)	28
2.9.2	Tasa de crecimiento relativo (TCR)	28
2.9.3	Razón de área foliar (RAF)	29
2.9.4	Razón de peso foliar (RPF)	29
2.9.5	Área foliar específica (AFE)	29
2.10	Características generales de los cultivos utilizados	30
2.10.1	Calabacita (<i>Cucúrbita Pepo</i>)	30
2.10.2	El cultivo de pimiento (<i>Capsicum annuum L.</i>)	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS		34
3.1	Descripción del sitio experimental	34
3.1.1	Localización	34
3.1.2	Clima	34
3.2	Descripción de las películas evaluadas	35
3.3	Equipos utilizados para la toma de datos	37
3.3.1	Radiación total	37

3.3.2	Radiación fotosintética activa (PAR) y radiación difusa	37
3.3.3	Radiación ultravioleta	38
3.3.4	Temperatura y humedad relativa	38
3.3.5	Almacenamiento de los datos	38
3.3.6	Medición del área foliar	39
3.3.7	Medición de fotosíntesis	39
3.4	Determinación de las propiedades mecánicas de las películas	39
3.5	Fase de Evaluación con Cultivo	40
3.5.1	Preparación del terreno y colocación de los microtúneles	40
3.5.2	Establecimiento del cultivo	42
3.5.3	Material vegetal utilizado	42
3.6	Diseño experimental	43
3.6	Metodología para toma de datos y análisis de datos	44
3.6.1	Determinación de la radiación	44
3.6.2	Determinación de los parámetros fisiológicos	44
3.6.3	Determinación de materia seca	45
3.7	Determinación de los índices de crecimiento	45
3.7.1	Tasa de asimilación neta (TAN)	45
3.7.2	Tasa de crecimiento relativo (TCR)	46
3.7.3	Razón de área foliar (RAF)	46
3.7.4	Razón de peso foliar (RPF)	47
3.7.5	Área foliar específica (AFE)	47
3.8	Calculo del déficit de presión de vapor	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		49
4.1	Comportamiento óptico de las películas tricapa de PE/EVA/PE (20/60/20)	49
4.2	Comportamiento óptico de las películas tricapa PE/EVA/PE (30/40/30)	51
4.3	Comportamiento óptico de las películas tricapa de	54

	PE/EVA/PE (40/20/40)	
4.4	Comportamiento óptico de las películas de PE/EVA (88/12)	57
4.5	Comportamiento óptico de las películas de PE patente CIQA	60
4.6	Comportamiento óptico de las películas de PE (Patente CIQA) con un aditivo perlescente	62
4.7	Comportamiento óptico de las películas CIBA 1	65
4.8	Comportamiento óptico de las películas CIBA 2	68
4.9	Selección de las películas con las propiedades ópticas deseadas	69
4.10	Transmisión del NIR por las películas seleccionadas	72
4.11	Propiedades mecánicas de las películas seleccionadas	73
	4.11.1 Resistencia al impacto	73
	4.11.2 Resistencia a la tensión y porcentaje de elongación	74
	4.11.3 Envejecimiento acelerado	75
4.12	Evaluación de las películas en el periodo Otoño-Invierno en el cultivo de calabacita	76
	4.12.1 Radiación fotosintética activa en el interior de los microtúneles	76
	4.12.2 Radiación difusa en el interior de los microtúneles	77
	4.12.3 Radiación UV en el interior de los microtúneles	78
	4.12.4 Análisis del comportamiento de los parámetros fisiológicos de las plantas de calabacita (<i>Cucúrbita pepo</i>)	79
	4.12.5 Análisis estadístico de los índices de crecimiento de las plantas de calabacita (<i>Cucúrbita pepo</i>)	83
	4.12.6 Temperatura y humedad relativa al interior de los microtúneles durante el ciclo Otoño-Invierno	85
	4.12.7 Fotosíntesis y resistencia estomática en calabacita (<i>Cucúrbita pepo</i>)	86
4.13	Evaluación de las películas seleccionadas en el periodo	88

primavera-verano con el cultivo de pimiento morrón (<i>Capsicum annuum L.</i>)	
4.13.1 Transmisión de la radiación total	88
4.13.2 Transmisión de la radiación PAR en el periodo primavera-verano	89
4.13.3 Capacidad de las películas para difundir la radiación PAR	90
4.13.4 Transmisión de la radiación UV	91
4.13.5 Análisis del comportamiento de los parámetros fisiológicos	92
4.13.6 Análisis estadístico de los índices de crecimiento en plantas de pimiento (<i>Capsicum annuum L.</i>)	95
4.13.7 Fotosíntesis y resistencia estomática en pimiento (<i>Capsicum annuum L.</i>)	98
4.13.8 Temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor al interior de los microtúneles.	100
4.13.9 Rendimiento en pimiento (<i>Capsicum annuum L.</i>)	103
V. CONCLUSIONES	105
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1 Niveles óptimos de la temperatura del aire en diferentes cultivos.	22
Cuadro 3.1 Formulaciones de las películas a evaluar.	35
Cuadro 4.1 Grado de transmisión del (NIR).	73
Cuadro 4.2 Resistencia al impacto y espesor promedio de las cinco películas evaluadas.	74
Cuadro 4.3 Resistencia a la tensión de películas con diferentes relaciones de resinas plásticas.	74
Cuadro 4.4 Porcentaje de elongación de películas sintetizadas con diferentes relaciones de resinas plásticas.	75
Cuadro 4.5 Porcentajes de elongación de diferentes películas expuestas a envejecimiento acelerado.	76
Cuadro 4.6 Comparación de medias mediante DMS con un nivel de significancia de 0.05, para la tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), razón de área foliar (RAF), razón de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE) en calabacita.	84
Cuadro 4.7 Comparación de medias mediante DMS con un nivel de significancia de 0.05, para los índices de crecimiento en pimiento.	97
Cuadro 4.8 Rendimiento del pimiento cultivado durante el periodo primavera-verano.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	Efecto de las películas refrescantes (Fuente: Olivera, 2008).	9
Figura 2.2	Efecto de las películas térmicas (Fuente: Olivera, 2008).	10
Figura 2.3	Comportamiento de la radiación solar al topar con una cubierta plástica en función del ángulo de incidencia (Fuente: Hernández, 2002).	14
Figura 2.4	Efecto de la difusión de una película plástica (Fuente: Hernández, 2002).	15
Figura 2.5	Tipos de frutos de las ocho variedades existentes (Fuente: Rosales, 2007).	2.4
Figura 3.1	Evaluación de las propiedades ópticas de las diferentes películas en campo.	36
Figura 3.2	Camas para la siembra de calabacita.	40
Figura 3.3	Estructura de los microtúneles con varilla y alambón.	41
Figura 3.4	Estructura revestida con la película.	42
Esquema 3.1	Croquis de la aleatorización de los tratamientos.	43
Figura 4.1	Transmisión de la radiación PAR en las películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	49
Figura 4.2	Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (20/60/20) para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	50
Figura 4.3	Comportamiento a la transmisión de la radiación ultra UV en películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	51
Figura 4.4	Efecto de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30) en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	52
Figura 4.5	Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30)	ix

	para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	53
Figura 4.6	Comportamiento de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30) a la transmisión de la radiación UV. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	54
Figura 4.7	Transmisión de la PAR de las películas de PE/EVA/PE (40/20/40). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	55
Figura 4.8	Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (40/20/40) para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	
Figura 4.9	Comportamiento a la transmisión de la radiación UV de las películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	57
Figura 4.10	Efecto de las películas de PE/EVA (88/12) en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	58
Figura 4.11	Capacidad de las películas PE/EVA (88/12) para difundir la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	59
Figura 4.12	Transmisión de la radiación UV en las películas de PE/EVA (88/12). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	60
Figura 4.13	Efecto de las películas de PE patente CIQA en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	61
Figura 4.14	Capacidad de las películas de PE patente CIQA para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	61
Figura 4.15	Transmisión de la radiación UV en películas de PE	

	patente CIQA. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	62
Figura 4.16	Transmisión de la PAR en películas de PE de patente CIQA con un agente perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	63
Figura 4.17	Difusión de la radiación PAR en las películas de PE de patente CIQA con un aditivo perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	64
Figura 4.18	Comportamiento a la transmisión de la radiación UV de las películas de patente CIQA con un aditivo perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	65
Figura 4.19	Transmisión de la radiación PAR de las películas CIBA 1. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	66
Figura 4.20	Capacidad de las películas CIBA 1 para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= cero, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	67
Figura 4.21	Efecto de las películas CIBA 1, en la transmisión de la radiación UV. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	67
Figura 4.22	Transmisión de la PAR en las películas CIBA 2. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	68
Figura 4.23	Capacidad de las películas CIBA 2 para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	69
Figura 4.24	Transmisión de la radiación UV en las películas CIBA 2. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.	69
Figura 4.25	Comportamiento de la radiación PAR en el interior de los	

	microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones, para el periodo otoño-invierno.	77
Figura 4.26	Capacidad de diferentes películas para difundir la radiación PAR en el interior de los microtúneles, cubiertos con películas de diferentes formulaciones en el periodo otoño-invierno	78
Figura 4.27	Comportamiento de la radiación UV en el interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones, para el periodo otoño-invierno.	79
Figura 4.28	Diámetro basal de tallos del cultivo de calabacita producidas bajo diferentes películas	80
Figura 4.29	Peso de tallos en el cultivo de calabacita producidas bajo diferentes películas.	81
Figura 4.30	Incremento del área foliar en el cultivo de calabacita según la cubierta bajo la cual fue producida.	82
Figura 4.31	Peso foliar del cultivo de calabacita producido bajo diferentes películas.	83
Figura 4.32	Comportamiento de la temperatura dentro de los microtúneles cubiertos con diferentes películas, durante el periodo otoño-invierno.	85
Figura 4.33	Comportamiento la humedad relativa dentro de los microtúneles cubiertos con diferentes películas en el periodo otoño-invierno.	86
Figura 4.34	Fotosíntesis realizada por las plantas de calabacita, cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas.	87
Figura 4.35	Resistencia estomática en plantas de calabacita cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas.	88
Figura 4.36	Transmisión de la radiación total en el periodo primavera-verano en diferentes películas para invernadero.	89

Figura 4.37	Transmisión de la radiación PAR en el periodo primavera-verano en diferentes películas para invernadero	90
Figura 4.38	Capacidad de las películas para difundir la radiación PAR en el periodo primavera-verano.	91
Figura 4.39	Transmisión de la radiación ultra violeta en el periodo primavera-verano en microtúneles cubiertos por diferentes películas.	92
Figura 4.40	Altura de las plantas de pimiento crecidas bajo diferentes películas para invernadero en el período primavera-verano.	93
Figura 4.41	Diámetro basal de tallos en plantas de pimiento cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas en el periodo primavera-verano.	94
Figura 4.42	del área foliar del cultivo de pimiento durante el periodo primavera-verano bajo condiciones de microtúneles con diferentes películas.	95
Figura 4.43	Comportamiento de la fotosíntesis del cultivo de pimiento bajo diferentes películas.	99
Figura 4.44	Resistencia estomática en plantas de pimiento cautivadas bajo diferentes películas.	100
Figura 4.45	Promedios de temperatura registrados en microtúneles cubiertos con diferentes películas, durante el periodo primavera-verano en cultivo de chile pimiento.	101
Figura 4.46	Promedios de humedad relativa registradas en microtúneles cubiertos con diferentes películas en el periodo primavera-verano en un cultivo de pimiento.	102

RESUMEN

El desarrollo de los cultivos está influenciado directamente por los factores climáticos de su entorno. Con la utilización de invernaderos se puede crear un ambiente idóneo para las plantas, los materiales utilizados como cubierta pueden modificar el balance energético del invernadero, por lo que es necesario elegir el material de recubrimiento adecuado para lograr las condiciones requeridas. Para generar nuevas películas con las características adecuadas para cada lugar inclusive para los diferentes cultivos, es necesario realizar investigaciones con nuevos aditivos que le proporcionen a las películas las características buscadas.

En esta investigación se evaluó el efecto de tres diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc (0.025%, 0.05% y 0.1%) en ocho películas para invernadero, de las cuales se eligieron las cinco películas con mejor respuesta óptica para probar su efecto en dos periodos de producción con un cultivo diferente. Dos de las películas seleccionadas contenían una concentración de nanopartículas de óxido de zinc de 0.1%, con esta concentración las películas mostraron una transmisión de la radiación fotosintética activa (PAR) superior al 80%, la transmisión de la radiación UV en ambas películas fue menor del 20%. Las características físico mecánicas de resistencia al impacto, resistencia a la tensión y porcentaje de elongación de las cinco películas seleccionadas están dentro de los límites requeridos por la norma mexicana NMX-E-114-CNCP-2006 y de la norma española UNE-EN-12206, mientras que las pruebas de envejecimiento acelerado dictaminaron para estas películas una vida útil mínima de dos años. Durante el periodo otoño-invierno las plantas de calabacita cultivadas en las películas con una concentración de 0.1% de nanopartículas de óxido de zinc fueron las que mejor respuesta mostraron en los parámetros fisiológicos (diámetro de tallos, peso de tallos, área foliar y peso foliar). En el periodo primavera verano, las películas con 0.1% de nanopartículas de óxido de zinc tuvieron buen efecto en los parámetros fisiológicos del cultivo de pimiento lo que se vio reflejado en el rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Producción de cultivos en ambientes protegidos

La utilización de espacios protegidos para la producción de cultivos florícolas y hortícolas, permite a los agricultores aumentar su producción por unidad de superficie, incrementar la calidad de los productos y que esta sea constante a lo largo del año. Por lo cual los agricultores a gran escala pueden ser más competitivos en la producción y exportación de hortalizas, a los pequeños productores les permite obtener productos de alta calidad durante las temporadas de mejor oferta en sus mercados regionales, a nivel nacional e internacional.

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, están influenciados por el ambiente, donde los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular, expansión celular, toma de nutrientes y agua, se ven modificados, principalmente por los factores climáticos en el entorno. La transmisión de radiación solar a través de los materiales de recubrimiento influye directamente en el balance energético del espacio protegido, así como también en la actividad fotosintética del cultivo pudiendo ser un factor limitante en el desarrollo de los cultivos (Iglesias, 2007).

Debido a que los materiales de cobertura pueden tener una influencia directa en el desarrollo y la producción de los cultivos es importante considerar la utilización de materiales adecuados para proporcionarles las condiciones óptimas para su crecimiento y obtener un mejor rendimiento de las plantas. En México existe una amplia gama de tecnologías para ambiente protegido: vidrio, plástico y malla sombra, provenientes de países como Israel, Holanda, España, Canadá entre otros, todas estas tecnologías se han tratado de adecuar a las necesidades climáticas del país, también existe tecnología generada en el país, la cual es creada según las necesidades climáticas existentes en el lugar.

1.2 Protección de cultivos mediante películas plásticas

Los plásticos han revolucionado las técnicas de producción agrícola y es evidente, a nivel mundial, su uso en forma de películas para acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. En México, el uso de invernaderos ha experimentado un auge en los últimos años, para la producción de hortalizas en gran escala, principalmente tomate, chile y pepino entre algunos otros. Mediante la modificación de los factores ambientales a los que son más sensibles los cultivos es posible manipular sus respuestas adaptativas para mejorar la calidad y el rendimiento en beneficio del productor y el consumidor, lo que ha motivado a la industria hortícola y la de plásticos para uso agrícola a poner un énfasis en el estudio y desarrollo de cubiertas que controlen la radiación incidente en los invernaderos pues la intensidad y la calidad de la radiación (balance espectral), son factores clave ya que modifican la temperatura interna del invernadero y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides, 1998, Samaniego, 2002).

Durante el verano, un problema que enfrentan los productores que utilizan invernaderos son las elevadas temperaturas, las cuales disminuyen la calidad de las hortalizas, en estas condiciones es necesario evitar el paso de la radiación infrarroja de alta energía al interior del invernadero, que es la que eleva la temperatura dentro; sin embargo, cuando las temperaturas en el exterior son bajas, las cubiertas plásticas deben permitir el paso de la mayor cantidad de radiación durante el día hacia el interior del invernadero y evitar que ésta se pierda durante la noche, esto ocurre durante el período de otoño e invierno.

Cada especie vegetal, en las etapas de su ciclo biológico, necesita para su desarrollo normal un rango de temperaturas óptimas. El balance de energía de un invernadero pasivo depende de los aportes o ganancias y de las pérdidas de calor que tenga el sistema. Durante el día, una parte de la radiación total que incide sobre la cubierta del invernadero se pierde por reflexión y otra es absorbida. El resto de la radiación pasa al interior del abrigo, donde una fracción de la misma es absorbida por la vegetación, por el suelo y por los componentes estructurales del

invernadero, y otra es reflejada por los mismos elementos; de esta última una parte se pierde saliendo a la atmósfera exterior y una parte queda retenida en el invernadero. La energía total ganada se destina al calentamiento de los elementos estructurales y de la cubierta, la vegetación y del suelo, y además al sostenimiento de los procesos de evaporación y la fotosíntesis. Para un buen desarrollo de las plantas la cubierta debe transmitir la máxima radiación solar durante el día y durante la noche debe presentar opacidad máxima a la radiación infrarroja de onda larga procedente del suelo, de la vegetación y de la estructura del invernadero, con la finalidad de evitar un rápido enfriamiento del invernadero. Para seleccionar adecuadamente un material de cubierta, es preciso conocer sus propiedades mecánicas, químicas y ópticas.

1.3 Nueva tendencia en la formulación de películas para invernadero

Las oportunidades tecnológicas en materiales plásticos para elaboración de películas para invernaderos pasan por el desarrollo de nuevas cubiertas que permitan un mejor control del clima del invernadero, una mayor productividad y obtener 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).

Objetivos:

- Evaluar la transmisión de radiación fotosintética activa, transmisión de radiación Ultravioleta y la difusión de la radiación en diferentes formulaciones de película para invernadero desarrolladas en el CIQA con materiales producidos en Peñoles.
- Evaluar el desarrollo fenológico y fisiológico de un cultivo bajo microtúneles cubiertos con las películas que tengan las mejores propiedades ópticas y físico-mecánicas seleccionadas en la fase de evaluación de prototipos.
- Seleccionar las cubiertas que en la fase de microtúnel tengan una buena protección a la radiación ultravioleta, además de tener la mejor respuesta agronómica del cultivo para una fase posterior de evaluación en invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Formulaciones clásicas de películas para invernadero

Los materiales plásticos empleados como cubiertas de invernadero se pueden clasificar en filmes flexibles, placas rígidas y mallas, aunque la superficie cubierta con los primeros supera a las otras dos opciones.

Las películas plásticas utilizadas para cubierta de invernadero normalmente tienen espesores comprendidos entre 80 y 220 micrómetros (μm). Entre los polímeros más utilizados en la elaboración de películas plásticas para invernadero se encuentran, el polietileno de baja densidad (LDPE) y los polímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) y acrilato de butilo (EBA), el poli cloruro de vinilo (PVC) y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) (Velásquez, 2004).

Antes de la introducción de los estabilizadores a la luz tipo amina impedida (HALS), las combinaciones absorbentes UV (UVA) y complejos de níquel fueron las alternativas de estabilización para películas agrícolas. Incluso hoy, todavía se usa ampliamente este paquete UV en películas agrícolas, especialmente cuando se están aplicando pesticidas con base en azufre. La combinación de filtro UV/complejo de níquel, aunque es muy resistente a los pesticidas, presenta sus limitaciones en la reducción de la transmisión de la luz, debido al color verde del complejo de níquel (Ruiz, 2004).

Otra forma tradicional de obtener películas plásticas para cubiertas de cultivo, es agregar al polímero compuestos de sílice. Esto produce una filtración al paso de radiaciones infrarrojas, pero va en detrimento de la transmisión de luz fotosintética activa (PAR) (Velásquez, 2004).

2.2 Nuevas formulaciones de películas para invernadero

Los plásticos empleados como cubierta de los invernaderos son derivados del petróleo obtenidos a través de un proceso industrial (Díaz *et al.*, 2001), siendo los aditivos que llevan estos materiales los que les van a dar las cualidades mecánicas o físicas y las cualidades radiométricas u ópticas.

Las oportunidades tecnológicas en materiales plásticos para la cubierta de invernaderos pasan por el desarrollo y utilización de nuevas películas que permitan un mejor control del clima del invernadero y una mayor productividad para poder obtener las cosechas en las épocas más ventajosas económicamente.

La aparición del plástico de coextrusión ha abierto las puertas a la posibilidad de contar con películas que combinan las características técnicas de dos o más plásticos diferentes (multicapas). En la práctica eso significa que cada zona, cada tipo de cultivo, o cada estilo de agricultor puedan contar con el plástico que mejor responda a sus exigencias. La especialización creciente de la agricultura ha recibido un fuerte impulso con estos plásticos capaces de responder de manera cada vez más específica a las necesidades del agricultor profesional (López, 2003).

El diseño de nuevas películas agrícolas con aspectos muy particulares ha complicado enormemente la formulación ya que con los diferentes tipos existentes, actualmente en el mercado se ha dado respuesta a la demanda cada vez más exigente, todo esto influye directamente en el precio final de las películas debido a que el costo de los aditivos es alto en comparación con el polímero base, polietileno de baja densidad o copolímero de etilen-vinil-acetato (Catalina *et. Al.*, 2002).

Los desarrollos de nuevas formulaciones se dirigen hacia una mejora de las propiedades mecánicas y ópticas, las cuales pueden reducir el volumen de residuo (mediante materiales más duraderos) y el uso de fitosanitarios. Los nuevos materiales tratan de mejorar las propiedades de: duración, efecto anti goteo,

termicidad, difusión y transmisión. La eficacia de estos materiales va a depender también en parte de la geometría de la cubierta del invernadero y de la localización del mismo (López, 2003).

2.2.1 Películas anti-insectos

Su modo de acción está basado en el bloqueo de la transmisión de radiación UV al interior del invernadero. Este proceso dificulta el desarrollo de plagas o enfermedades causadas por hongos o por virus transmitidos por insectos que por algún motivo son sensibles a la disminución o ausencia de este tipo de radiación.

Los plásticos anti insectos 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. Dependiendo de la plaga el efecto será mayor o menor, siendo más importante en aquellas plagas que necesitan mayor cantidad de radiación UV. Plagas como mosca blanca, *Bemisia tabaci*, se ven altamente afectadas por estos materiales. Si la mosca blanca vuela por los alrededores del invernadero no es capaz de reconocer el cultivo, también la incidencia el *Thrips tabaci* se ha reducida bajo estos materiales comparándolos con plásticos normales (Pérez *et al.*, 2007).

Los plásticos anti insectos han demostrado que reducen la presencia de plagas frente a los plásticos normales, y junto con un buen manejo de las colmenas polinizadoras, pueden ser una herramienta complementaria a técnicas de control biológico. Los trabajos realizados sobre el efecto que tiene estos plásticos sobre los insectos benéficos (polinizadores) han demostrado que no se observan diferencias en producción comparándolos con los plásticos normales (Soler *et al.*, 2009).

2.2.2 Películas refrescantes o películas frías

Los invernaderos situados en las zonas tropicales o desérticas pueden sufrir problemas al estar sometidos a las temperaturas excesivas prácticamente a todo lo largo de un ciclo de cultivo. El sobrecalentamiento es debido al exceso de la radiación solar principalmente en el rango del infrarrojo cercano (NIR). Los agricultores suele solucionar este problema utilizando mallas de sombreado o mediante el blanqueo de las cubiertas. Ambos métodos solucionan el efecto de la transmisión de energía térmica en el infrarrojo cercano que es aproximadamente un 45 por ciento del total, pero también disminuye la transmisión de la PAR. Las cubiertas ideales para este tipo de clima serian aquellas que filtren la NIR, para mantener fresco el invernadero sin reducir la PAR, estas películas con las conocidas como refrescantes o antitérmicos (Espí *et al.*, 2002).

Estas películas son impermeables a las radiaciones de longitudes de ondas cortas (NIR 770 a 3,000 nm) durante el día, y permeables a las radiaciones de longitud larga (LIR 6,000 a 14,000 nm) durante la noche (Figura, 2.1) (Olivera, 2008). Las cubiertas con estas características será sin duda un buen complemento a otras técnicas de refrigeración, como el encalado, la nebulización, entre otras. Será necesario desarrollar cubiertas específicas para diferentes climas y cultivos, ya que tanto el bloqueo NIR como la reducción en la transmisión PAR que a veces lleva asociada, deben ser ajustadas a las condiciones climáticas locales, permitiendo cultivos en zonas tropicales o desérticas o en épocas calurosas en otras zonas, donde eran antieconómicos con otras tecnologías.

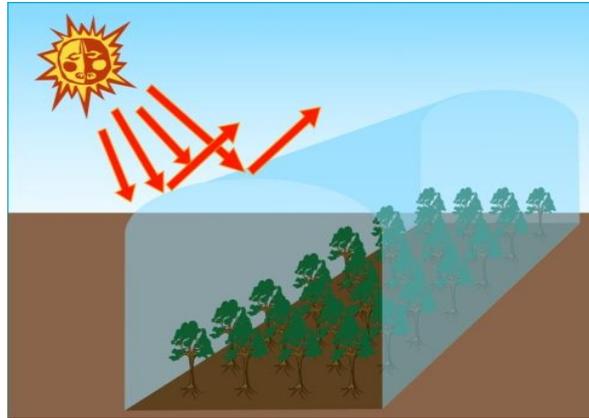


Figura 2.1 Efecto de las películas refrescantes (Fuente: Olivera, 2008).

2.2.3 Películas térmicas

La banda del espectro de radiación en el rango de infrarrojo cercano (NIR) es la zona del espectro electromagnético comprendida entre los 2.5 μm y los 25 μm y es en este rango en donde se sitúa la mayor parte de emisión de radiación terrestre y de los objetos que hay sobre ella. Los plásticos térmicos son adecuados para zonas frías o propensas a largos periodos fríos o heladas. Durante el día se busca que el calor acumulado dentro del invernadero no sobrepasa la temperatura máxima crítica para el adecuado desarrollo de los cultivos. Este calor es retenido durante la noche debido al efecto termoaislante, que se alcanza por ser opacos a la radiación NIR, especialmente entre los 7 y 14 μm (Espí *et al.*, 2002).

Las películas térmicas son permeables a las radiaciones de longitudes de ondas cortas (NIR) absorbidas durante el día por la planta y el suelo, e impermeables a las radiaciones de longitud durante la noche que son emitidas por el suelo y las plantas (Figura 2.2). De esa manera mantienen la temperatura dentro del invernadero aún en momentos en que la temperatura exterior es muy baja.

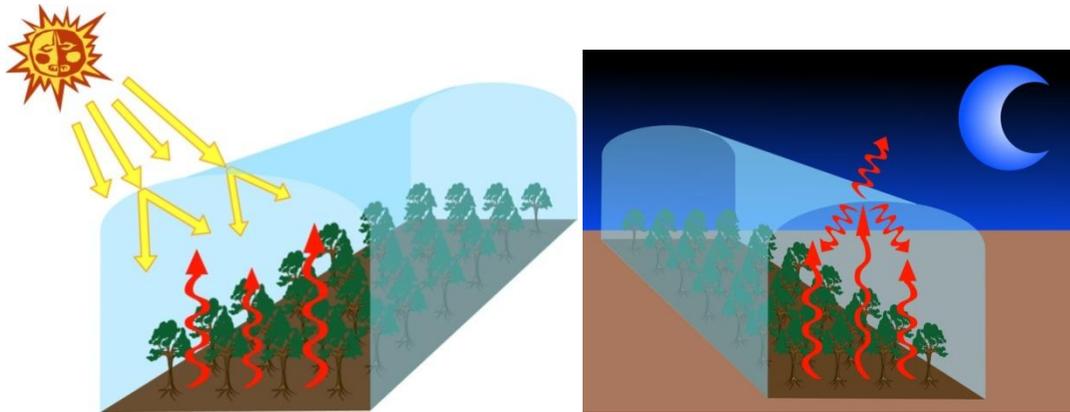


Figura 2.2 Efecto de las películas térmicas (Fuente: Olivera, 2008).

2.2.4 Películas fluorescentes

Modifican 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 (Acuña, 2007).

2.2.5 Formulación de películas con nanopartículas

La nanotecnología es un término antepuesto por el sufijo nano, que proviene del griego y significa diminuto consiste en manipular materiales a niveles atómicos y moleculares para crear nuevas estructuras moleculares conocidas como “nanomateriales”, las cuales poseen características únicas y nuevas diferentes a las de los materiales originales de los que se derivan. Estos materiales pertenecen a diferentes clases que varían entre sí en numerosas características básicas como la persistencia, reactividad y comportamiento en los sistemas biológicos, a tal punto que se hace imposible formular generalizaciones sobre sus propiedades (Molins, 2008).

En la protección ambiental, la nanotecnología a permitiendo aplicaciones en fotocátalisis, un proceso en el que la luz fomenta una reacción entre compuestos como residuos de plaguicidas y el nano material, sin que este se consuma. Este proceso sería útil en la descontaminación del agua para consumo humano y agrícola. Por ejemplo, se ha estudiado con éxito en diversos ámbitos la eliminación de aceites, agroquímicos y productos de desecho inclusive de contaminantes biológicos como los virus vía fotocátalisis, usando nanomateriales de óxido de titanio. En inocuidad de alimentos, la fotocátalisis podría aplicarse en la superficie de las frutas y hortalizas frescas para eliminar los residuos de agroquímicos tóxicos y destruir las bacterias (Thayer, 2002). Por otra parte, los nanocompuestos son una tecnología de materiales que está causando una revolución industrial en el mundo. Han sido desarrollados para mejorar las características mecánicas y físicas de los plásticos comerciales mediante la dispersión de partículas de tamaño nanométricos en su interior, siendo las arcillas como la montmorillonita las más usadas para este propósito.

Velásquez, *et al.*, (2004), al adicionar compuestos de nanoarcilla a películas plásticas para invernadero observó que la adición progresiva de arcilla orgánica muestra una creciente mejora en las capacidades de las películas de PEBD para retener radiaciones infrarrojas, en especial en la región de infrarrojo medio. Mientras que la transmisión a la luz no se ve considerablemente afectada por la presencia de nanopartículas de arcilla al interior de la matriz. La longitud de onda de los rayos visibles de luz es superior al tamaño de las láminas de montmorillonita en estado exfoliado y la formación de un nano compuesto con arcillas orgánicas produce un bloqueo parcial al paso de rayos UV, por ser estas partículas de un tamaño comparable a la longitud de onda de aquéllas.

La preparación de películas plásticas a base de materiales nanoestructurados encuentran gran aceptación en diferentes áreas siendo una de ellas las películas de ambientes controlados, en la que se aprovechan las propiedades ópticas, superficiales y de permeación a gases para lograr una cierta selectividad de radiaciones y para el control de temperatura en cubiertas de ambientes

controlados; lo cual tendrá efecto sobre el control del microclima, bajo este ambiente, lo que influirá en los procesos fisiológicos y de desarrollo de plantas. Considerando la aplicación del PE para cubiertas de invernadero estas deben de cumplir con valores estándar de transmisión de luz visible y de opacidad al infrarrojo además de asegurar un tiempo de vida útil de esta película al ser expuesta a la intemperie (Sanchez *et al.*, 2007).

2.3 Propiedades ópticas de películas plásticas para invernadero

La propiedad óptica es la respuesta de un material expuesto a una radiación electromagnética, en particular a la luz visible. Los materiales no metálicos pueden ser transparentes a la luz visible según su estructura, por este motivo es importante considerar parámetros como el porcentaje de transmisión (Calliste, 2007).

Las características ópticas de la cubierta plásticas pueden modificar significativamente la calidad y transmisión de la luz, afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia en el uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogenéticos.

2.3.1 Opacidad

Opacidad es la propiedad de un material de absorber la luz que lo traspasa, por la cual llegado a un cierto punto un medio es opaco, es decir, no transparente. Los pigmentos son bien conocidos como agentes de opacidad en las películas plásticas. El negro de carbono exhibe una elevada capacidad de opacidad, esto es, una gran capacidad de absorción de la luz a través de las películas (Acuña, 2007).

Para algunas aplicaciones la opacidad de las películas es un parámetro clave. Por ejemplo, algunas películas agrícolas deben poseer un cierto nivel de opacidad

para prevenir el crecimiento de las malas hierbas como en el caso de acolchados, mientras que las películas utilizadas para recubrimiento de invernaderos deben tener muy poca opacidad. La transmisión de la luz a través de las películas es una forma de medir la opacidad. A mayor cantidad de luz transmitida con respecto de la luz incidente, menor opacidad (Hemming, 2008).

3.3.2 Transmisión

Es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresaría como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior. La radiación solar que incide sobre una lámina de plástico que cubre un invernadero puede ser transmitida (atravesando dicha lámina), reflejada por dicha lámina o absorbida. El estudio de la transmisión de la radiación solar de los invernaderos, es provechoso para poder establecer mejoras que permitan una mayor penetración de la radiación, que posibiliten la máxima productividad y las mayores ganancias de energía cuando los invernaderos son utilizados como colectores solares (Iglesias *et al.*, 2007).

La calidad de la luz es afectada al atravesar la lámina plástica. En caso de radiación directa, la transmisión dependerá también del ángulo de incidencia, que forman los rayos solares con la línea perpendicular a la superficie de la lámina (Figura 2.3). Cuando la radiación solar que incide sobre la lámina es difusa, no cabe hablar de ángulos de incidencia, al provenir la radiación de toda la bóveda celeste (Hernández, 2002).

Un material de cubierta debe de transmitir la máxima radiación de onda corta, ya que es en ésta donde se encuentra la fracción de radiación PAR. De la radiación transmitida, parte será difusa y parte directa, dependiendo del material de cubierta. Una proporción elevada de radiación difusa evitará posibles quemaduras y especialmente en cultivos de porte alto permitirá que las hojas localizadas en niveles inferiores reciban más radiación, ya que las hojas del primer nivel

interceptan la mayor parte. La radiación difusa cuando incide sobre un objeto lo hace en todas las direcciones (como una bóveda) con lo que apenas se producen sombras. Una forma sencilla de identificar un material con elevada proporción de radiación difusa, es simplemente observando si existen sombras bien definidas dentro del invernadero (López, 2003).

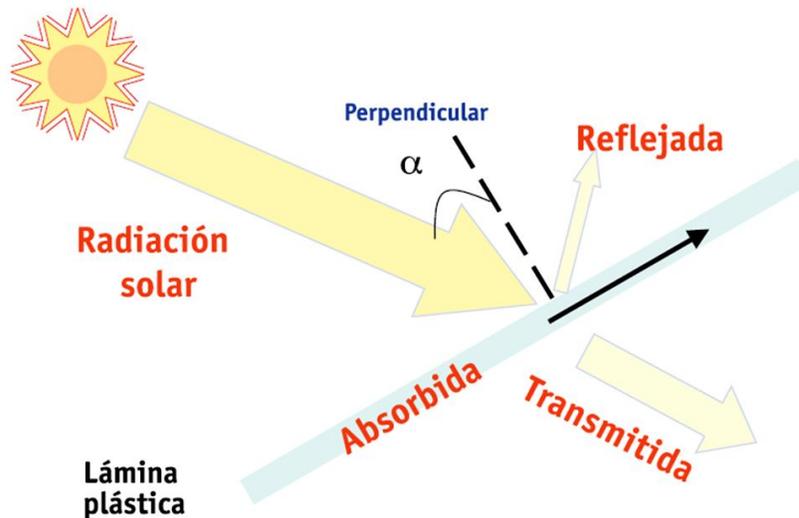


Figura 2.3 Comportamiento de la radiación solar al topar con una cubierta plástica en función del ángulo de incidencia (Fuente: Hernández, 2002).

Los valores de transmitancia que proporcionan las casas comerciales están referidos a condiciones que no se presentan en la práctica, es decir, cuando la luz incide perpendicularmente sobre la cubierta, así, son valores normales de más del 90% en transmisión a la luz visible (Montero *et al.*, 2001).

2.3.2 Difusión

La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejados, desviados o dispersados los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o traslúcido (Hernández, 2002)

Es la propiedad que tienen las cubiertas de cambiar la dirección de los rayos solares distribuyéndola equitativamente por toda el área para beneficiar a todo el invernadero en su conjunto y a la vez impedir que lleguen directamente a la planta. Este factor permite el desarrollo armónico del cultivo y ayuda a obtener frutos más homogéneos y sanos.

La luz puede hacerse difusa mediante las películas de recubrimiento para los invernaderos. Dichas películas contienen pigmentos micro o macro estructurados en la superficie que son capaces de transformar la luz directa entrante en luz difusa. Dependiendo el diseño de los pigmentos o de la estructura de la superficie, se dispersa la luz entrante y se cambia el ángulo de incidencia. Los pigmentos o estructuras de la superficie hacen la luz difusa, sin reducir la transmisión de la radiación total (Hemming, 2008).

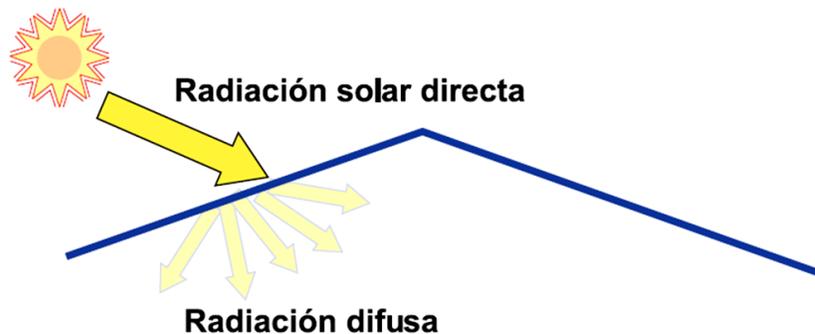


Figura 2.4 Efecto de difusión de una película plástica (Fuente: Hernández, 2002)

2.4 Propiedades mecánicas de películas plásticas para invernadero

2.4.1 Resistencia al impacto

En muchas operaciones de manufactura, así como durante la vida de servicio de los componentes los materiales están sujetos a cargas por impacto (cargas dinámicas), por lo que las pruebas de impacto son particularmente útiles, los materiales que tienen una elevada resistencia de impacto son comúnmente aquellos que tiene una elevada resistencia y ductilidad, por tanto una elevada

tenacidad. La sensibilidad a los defectos superficiales reduce significativamente la tenacidad al impacto (Serope, 2002).

Las propiedades de impacto de los materiales poliméricos están relacionadas con la tenacidad del material. La tenacidad se define como la habilidad de un polímero para absorber energía. El área bajo la curva esfuerzo tensión es directamente proporcional a la tenacidad del material. La resistencia al impacto se define como la habilidad del material para resistir a la ruptura bajo un shock de carga o la habilidad de resistir a la fractura ante un esfuerzo aplicado a alta velocidad (Hemming, 2008).

Las propiedades al impacto de los distintos polímeros pueden ser fácilmente modificables por el simple agregado de otros polímeros. La adición de plastificantes también modifica las propiedades de impacto a expensas de la rigidez. En materiales poliméricos tales como el nylon, los cuales son poco resistentes al impacto, puede lograrse una mejora en sus propiedades mediante la orientación de las moléculas, o mediante el agregado de cargas fibrosas las cuales actúan como medios de transferencia (Serope, 2002).

2.4.2 Resistencia a la tensión y elongación

Es la prueba más común para determinar las propiedades mecánicas de los materiales como la resistencia, ductilidad, tenacidad, modulo elástico y endurecimiento por deformación (Serope, 2002). Esta prueba nos permite determinar la capacidad de resistencia de un plástico al ser sometido a una fuerza de tensión y es particularmente útil para conocer la fuerza aplicada antes de la ruptura del plástico, en el caso de las cubiertas de invernadero es necesario aplicar tensión al momento de colocarlas en las estructuras de tal forma que se estire al máximo sin romperse. Entre mayor sea la resistencia a la tensión y tenga mayor porcentaje de elongación se facilitara el manejo al momento de su colocación en las estructura del invernadero (Shackelford, 2009).

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. La ductilidad de los materiales comúnmente se expresa como porcentaje de la elongación. En general, a mayor ductilidad (más deformable es el material), mayor será el porcentaje de la elongación. Este valor es importante porque no solo es una medida de la ductilidad del material, sino también porque da una idea acerca de la calidad del mismo. En caso de que haya porosidad o inclusiones en el material o si ha ocurrido algún daño por un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de elongación de la muestra puede decrecer por debajo de lo normal.

2.4.3 Envejecimiento acelerado

Las películas de polietileno se deterioran por tensiones originadas por la acción de los vientos, del granizo, de las variaciones de temperatura, su propio peso y los anclajes de la estructura que lo sostiene. Es necesario, por lo tanto, usar materiales resistentes y que ofrezcan garantías de estabilidad, pero que al mismo tiempo no disminuyan la iluminación (Alpi y Tognoni, 1991).

Se considera que un material plástico está envejecido después de su exposición a la radiación solar, o en equipos de envejecimiento acelerado, y por lo tanto no es apto para su uso, cuando retiene el 50% o menos de las propiedades ópticas o mecánicas evaluadas (Ramírez *et al.*, 1995).

La prueba de envejecimiento acelerado ayuda a conocer el potencial de duración y comportamiento de una pieza o producto acabado, cuando están sometidos a un ambiente o condiciones determinadas. Dependiendo de la estructura del plástico y del medio en el que se encuentre, éste se comportará de forma diferente. Utilizando cámaras de ensayo (niebla salina, cámara climática y de envejecimiento a la luz) se puede reproducir la influencia de la radiación solar, la temperatura, la lluvia, la humedad, y comprobar si el material se degrada, cambia de color, si presenta tensiones en su estructura.

2.5 Influencia de los factores ambientales en el desarrollo y rendimiento de los cultivos

2.5.1 Efecto de la radiación total

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

La tasa a la cual la radiación es recibida por una superficie por unidad de área se denomina irradiación, la misma que se expresa en unidades de potencia por unidad de área, $W m^2$. Teóricamente, un cuerpo negro capta toda la radiación a la que está expuesta. Sin embargo, en la práctica sólo se cuentan con cuerpos opacos los cuales solamente son capaces de captar una parte de la radiación total. No obstante, a partir de consideraciones termodinámicas es posible emplear estos cuerpos opacos para estimar la radiación solar instantánea sobre una región determinada. La energía aprovechable de la radiación solar proviene de la región del espectro visible e infrarrojo cercano, que son las ondas electromagnéticas que producen el incremento de la energía interna de un cuerpo (Guevara, 2003).

La energía consumida en casi todos los procesos atmosféricos proviene del Sol. Esta energía se transfiere a través de la radiación del calor en forma de ondas electromagnéticas. La radiación solar total que incide en un dosel de los cultivos, tiene un intervalo de longitud de onda de .300 a 4.00 μm para la fotosíntesis la planta utiliza solo la radiación de 0.400 a 0.700 μm , definida como la radiación fotosintética activa (PAR) y corresponde aproximadamente al 48 % de la radiación total incidente, el resto de la radiación solar absorbida por las la hojas induce efectos térmicos, afectando la temperatura foliar y la tasa de transpiración (Gallo y Daughy, 1986)

2.5.1 Radiación fotosintética activa

Para la fotosíntesis la planta utiliza solo la radiación de 0.400 a 0.700 μm que constituye el rango de absorción de las clorofilas y los pigmentos, definida como la radiación fotosintética activa (PAR) y corresponde aproximadamente al 48 % de la radiación total incidente (Jones, 1992). El resto de la radiación solar absorbida por las hojas induce efectos térmicos, afectando la temperatura foliar y la tasa de transpiración; Sin embargo, la incidencia de la radiación lumínica sobre los organismos vivos no es homogénea ni en su calidad ni en su intensidad. Ésta depende en primer lugar de la latitud, de la altitud, del tipo de ambiente y de su claridad o transparencia.

De entre todos los factores ambientales que afectan a las plantas quizá sea la luz el de mayor importancia. En una formación vegetal más o menos densa las hojas se superponen en niveles o capas sombreándose unas a otras. La luz es rápidamente absorbida por las primeras capas de hojas y lo que consigue penetrar hasta las capas más bajas (1 a 2% de la luz incidente) es una luz no sólo progresivamente menos intensa, sino empobrecida en aquellas longitudes de onda que ya han sido absorbidas más arriba. Esta desigual distribución en la luz que llega a las distintas partes de las plantas tiene consecuencias directas en la composición pigmentaria de las mismas. Dicho de otro modo, en un día soleado se podría asumir que todas las hojas de la planta están recibiendo un exceso de energía lumínica; sin embargo, esta es distinta tanto para las diferentes partes de la planta como entre plantas. Además en un día totalmente soleado a medida que cambia el ángulo de incidencia solar, cambia la intensidad con la que esta llega a las hojas (Manrique, 2003).

Yao *et al*, (2000), realizaron trabajos sobre pimiento en los que encontraron que los cambios en los diámetros del fruto están estrechamente relacionados con la radiación, observándose que en frutos ubicados a la sombra los cambios fueron mayores que aquellos desarrollados en lugares más iluminados. Los autores concluyeron que aquellos factores que afectan la transpiración foliar, tales como la

radiación solar, el déficit de vapor de agua, la temperatura del aire y el estrés hídrico, afectan el crecimiento del fruto.

2.5.2 Radiación difusa

La energía solar absorbida por la Tierra en forma de radiación lumínica y posteriormente disipada como radiación infrarroja, determina el calentamiento o enfriamiento del aire, la cantidad de agua evaporada o precipitada, y la diferencia de presión que determinan vientos y brisas. La radiación solar, al atravesar la atmósfera terrestre, es en parte reflejada, difundida y absorbida por el polvo y moléculas de gases disueltos en ella como el ozono (O₃), el dióxido de carbono (CO₂) y el vapor de agua entre otros. La magnitud de esta alteración depende de la composición de la atmósfera y de la longitud de camino óptico de los rayos del sol (Falcón, *et al.*, 2001).

La radiación difusa es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna. La radiación que proviene de objetos terrestres es la radiación terrestre. Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie.

Para muchos cultivos hortícolas la luz difusa significa crecimientos más uniformes de plantaciones y en muchos casos mayor calidad de los frutos de las plantas de vivero. La luz difusa llega a las plantas desde más ángulos pudiendo penetrar a los niveles más bajos del cultivo lo que ayuda a la planta a mantener más homogénea la fotosíntesis en todos los estratos del dosel. Si se utilizan plásticos con propiedades difusoras de la radiación solar directa como cobertura de invernaderos, se alteran de manera directa las proporciones de la luz directa y

difusa dentro del invernadero, y por consecuencia la respuesta de los cultivos (Papasseit, 2009).

En invernaderos la luz incidente es dispersada por el material lo que hace que el flujo luminoso se distribuya con más uniformidad, disminuyendo las sombras en el interior del invernadero y homogenizando la luz en el dosel de las plantas (Orden *et al.*, 1997). El agregado de aditivos para mejorar la calidad del plástico puede disminuir la transmisión de la radiación, pero también puede aumentar la difusión de luz en el invernadero (Alpi y Tognoni, 1991).

2.5.4 Temperatura

Las plantas controlan su temperatura mediante la transpiración, disipando hasta un 50 % de la energía que absorbe. Todas las especies responden a un rango de temperatura, dado que las relaciones bioquímicas están controladas por enzimas sensitivas al calor (Leskovar, 2001).

La temperatura también afecta la actividad metabólica celular, la absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos y reguladores del crecimiento, entre otros (Tognoni, 2000a). Los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular y expansión celular, se ven modificados, también por la temperatura, el déficit de presión de vapor, luz y CO₂. El metabolismo de las plantas puede ser afectado por la temperatura, la tasa de crecimiento para muchos cultivos expuestos a frío se puede incrementar al aumentar la temperatura en 10°C (López, 2001).

Cuando la temperatura desciende por debajo de 10 ó 12°C, las especies termófilas entre las que podemos considerar la mayoría de las hortalizas que se cultivan bajo protección, pueden presentar una reducción del crecimiento, disminución de la tasa de asimilación neta, depresión de la respiración, reducción del transporte y distribución de asimilados, disminución de la absorción de agua y

sales, cambios anatómicos y morfológicos, pérdida de fertilidad y envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular (Lorenzo, 2000).

Para un correcto manejo de la temperatura, es necesario conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada, en la cuadro 2.1 se muestran algunas temperaturas óptimas para diferentes cultivos hortícolas.

Cuadro 2.1 Niveles óptimos de temperatura del aire en diferentes cultivos.

Cultivo	Temperatura del aire (°C)	
	Día	Noche
Tomate	22-26	13-16
Pepino	24-28	18-20
Melón	24-30	18-21
Judía	21-28	16-18
Pimiento	22-28	16-18
Berenjena	22-26	15-18
Lechuga	15-18	10-12
Fresa	18-22	10-13
Clavel	18-21	10-12
Rosa	20-25	14-16
Gerbera	20-24	13-15
Gladiola	16-20	10-12

Fuente: Castilla, 2007.

En ambientes protegidos donde se alcanzan altas temperaturas, para reducir la radiación solar y atenuar la temperatura en un invernadero se utilizan pantallas térmicas, malla sombra y aplicación de carbonato de calcio sobre las cubiertas. Esta última práctica reduce la vida útil del polietileno, ya que el encalado extrae los aditivos de las películas y afecta sus propiedades mecánicas. Además, el uso de estos materiales, equipos y tecnologías eleva en forma considerable los costos de producción, por su precio, instalación, funcionamiento y mantenimiento (Samaniego, 2002).

2.5.5 Humedad relativa

Este parámetro climático, en vinculación con la temperatura, es responsable del grado de actividad metabólica de los cultivos y muchas veces no se considera la importancia de su rol por las dificultades prácticas de su medición y manejo.

En ambientes protegidos, el aire es enriquecido con vapor de agua proveniente de la evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, esta última es realizada por las plantas porque es el mecanismo que da origen al transporte de nutrimentos, así también para refrigerarse y para regular su crecimiento. La transpiración depende del déficit de saturación entre los estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o demasiado bajos influyen en la fisiología del cultivo y en su desarrollo. Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis (Huerta, 2008).

La humedad alta puede dificultar la polinización puesto que el polen húmedo puede quedar pegado en los órganos masculinos. Esta humedad ambiental puede favorecer el desarrollo de enfermedades. Si la temperatura del cultivo disminuye por debajo de la temperatura del rocío del aire, se condensa el agua y se favorece el desarrollo de enfermedades por hongos.

2.5.6 Concentración de CO₂

En plantas, la fijación y reducción de dióxido de carbono tiene lugar en el estroma del cloroplasto. Se consideran dos etapas o fases en la fotosíntesis: la fase fotoquímica que conduce a la formación de ATP y NADPH, y la fase bioquímica, en la que el ATP y el NADPH son utilizados para fijar CO₂ atmosférico y reducirlo para sintetizar carbohidratos. Se trata de un conjunto de reacciones que se denominan reacciones del carbono o metabolismo del carbono en la fotosíntesis (Pérez, 2009).

El dióxido de carbono de la atmósfera es una de las materias primas imprescindibles de la función fotosintética de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO₂, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores. La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0.03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0.1-0.2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas.

El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y aumento de los rendimientos en un 25-30%, mejora la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

2.5.7 Déficit de presión de vapor

La diferencia entre la presión máxima de vapor de aire y la presión de vapor actual se le denomina déficit de presión de vapor (DPV), el cual representa la presión de succión del aire con respecto a otros cuerpos que retienen humedad. El DPV puede ser utilizado para estimar la evapotranspiración (Baille *et al*, 1994).

El déficit de presión de vapor es una de las variables de entrada para la estimación de la evapotranspiración de referencia según el método patrón Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Humedades altas, próximas a saturación, pueden disminuir la ET_c e inhibir la absorción de nutrientes, particularmente el calcio, así como acarrear problemas de enfermedades.

Andrade, *et al.*, (2006) en un estudio realizado en un cultivo de Pitahaya (*Hylocereus undatus*) menciona que un valor bajo de DVP reduce la pérdida de agua de los tejidos porque disminuye la conductancia de vapor de agua. Muños (2005), en un experimento realizado en pimiento determino que un DPV bajo permite alcanzar buenos valores de producción total y que la calidad del fruto se puede ver afecta al aumentar el DVP, generando fisiopatías como la pudrición

apical. Por otra parte Sánchez, (2007) en un cultivo de vid observo que en ambientes con bajo DVP las plantas reducen considerablemente la tasa fotosintética debido al cierre estomático.

2.6 Influencia de las películas plásticas en el desarrollo y rendimiento de los cultivos

En el desarrollo de cultivos, el microclima y sus variaciones influyen en los procesos de intercambio de gases y relaciones hídricas (Nilsen y Orcutt, 1996). Estas variaciones no se pueden controlar en campo, pero en numerosos rubros hortícolas y ornamentales se ha evitado mediante el cultivo en invernadero. Las plantas necesitan un ambiente favorable en el que sean capaces no sólo de vivir sino también de producir.

Las películas de polietileno usadas comúnmente para cubiertas de invernadero presentan alta transmisión de radiación térmica, especialmente cuando no hay condensación. Las cubiertas utilizadas para los invernaderos deben responder a requerimientos de alguna manera contrapuestos: mientras por un lado es conveniente que presenten altos valores de transmisión a la radiación solar, particularmente la radiación fotosintéticamente activa (PAR), por otro lado deben presentar bajos valores de transmisión de la radiación infrarroja térmica.

2.7 Modificación del ambiente en el interior de los invernaderos utilizando películas plásticas con diferentes características

La transmisión de la radiación solar a través de la cubierta influye tanto en el balance energético del invernadero como en la actividad fotosintética del cultivo, ya que el material de cobertura provoca una reducción en la intensidad de la radiación y una modificación en la distribución espectral (Goldberg *et al.*, 1996). Esta reducción depende principalmente del material utilizado como cobertura y

también de los materiales utilizados en la estructura. El material de recubrimiento tiene que favorecer la entrada de la radiación solar incidente y al mismo tiempo limitar, especialmente en horas nocturnas, la pérdida de la energía térmica acumulada. Por ello es importante establecer para cada material la transparencia a la radiación fotosintéticamente activa y al infrarrojo, así como poder inferir su comportamiento a lo largo del tiempo, al ser expuesto a las condiciones ambientales características del lugar y al manejo del cultivo.

La fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero es designada como transmisión global del invernadero. La transmisión es función, entre otros factores, de las condiciones climáticas, de la posición del sol en el cielo, de la geometría de la cubierta del invernadero, de su orientación, del material de recubrimiento y de los elementos estructurales y equipos del invernadero que limitan, al sombrear, la radiación dentro del mismo (Zabeltitz, 1998).

La aparición en el mercado de cubiertas plásticas más transmisivas a la radiación solar (multicapa), que las cubiertas convencionales de polietileno normal, larga duración y térmico (Montero *et al.*, 2000), confirman el interés de aumentar la radiación dentro del invernadero en lugares con baja incidencia de radiación. Lavar las cubiertas plásticas y evitar en lo posible el blanqueo en los invernaderos, junto con una elección adecuada de la cubierta plástica permite una mayor disponibilidad de la radiación dentro del invernadero (Morales *et al.*, 2000).

2.8 Efecto de la radiación ultravioleta en la vida útil de las películas para invernadero

Existen distintos factores que afectan el tiempo de vida útil de una película para invernadero, estos factores pueden dividirse en forma general, en dos clases, los relacionados con la formulación y los relacionados con el ambiente donde se encuentra el invernadero. Uno de los factores más importantes relacionados con el lugar donde se encuentra el invernadero es la radiación, en particular la radiación

ultra violeta. La resistencia intrínseca a la radiación UV del polímero o de la mezcla de polímeros usada y su compatibilidad con los estabilizantes UV, conducirán a distintos tiempos de duración de la película en campo, típicamente una película formulado con EVA tendrá una duración ligeramente más larga que una película elaborado únicamente con PE (Cruz, 2002).

La radiación UV representa únicamente un 4.6 % del espectro solar, pero causa la mayor parte del daño en el material polimérico. El espectro de la radiación solar ultravioleta se encuentra entre los 280 y los 400 nanómetros; sin embargo, la parte más agresiva es la UVB, cuyas longitudes de onda son las más cortas y están comprendidas entre los 280 y los 315 nanómetros.

La gran mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa. Este envejecimiento se atribuye a una reacción de foto-oxidación térmica en cadena producida por la radiación luminosa de mayor energía, en la que se generan grupos carbonilo, grupos responsables que desencadenan reacciones de degradación del plástico (Arandilla *et al.*, 2007).

Los aditivos UV necesitan tener una elevada estabilidad inherente a la luz, baja volatilidad y no deberían interactuar con otros ingredientes en el paquete de estabilización (agentes antiniebla, aislantes térmicos). El término medio de vida de un paquete de estabilización se puede acortar si los aditivos son demasiado volátiles, son insolubles o presentan una excesiva migración en la matriz polimérica (Stretanski, 1999).

2.9 Descripción de los índices de crecimiento

El crecimiento es una aproximación explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, 2003). Este se manifiesta como un aumento irreversible de la masa de un organismo vivo, órgano o célula. El incremento en masa debe ser permanente, con lo cual se elimina la variación de

volumen debida a fenómenos osmóticos. Existe, por tanto, el concepto de que el crecimiento puede definirse como un aumento en tamaño, sin embargo, esto no es siempre cierto, dado que puede darse el crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí, el número de células; por otro lado, también puede haber crecimiento con aumento de tamaño pero disminución del peso seco (Salisbury y Ross, 2000).

El análisis de crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas, como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, entre algunos otros (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.

2.9.1 Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta (TAN) es un índice de eficiencia productiva en relación con el área foliar total (Hunt, 1990), mide en forma indirecta la fotosíntesis realizada por la planta en intervalos de tiempo, junto con la tasa unitaria, miden el aumento neto en el peso seco de la planta por área foliar unitaria. La eficiencia fotosintética de las plantas se expresa en términos de la TAN, es la cantidad de materia seca producida por unidad de hoja y por unidad de tiempo.

2.9.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se define como el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo, durante los primeros estadios de una planta, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies (Villar, 2004). Representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material.

2.9.3 Razón de área foliar (RAF)

La razón de área foliar (RAF) es un índice morfológico que mide el balance entre lo gastado para la respiración de los distintos componentes de la planta y lo producido potencialmente para la fotosíntesis (Guevara, 2009). En cualquier instante de tiempo es la razón del material asimilado por unidad de material vegetal presente. También puede definirse como la relación que existe entre el área foliar y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990).

2.9.4 Razón de peso foliar (RPF)

Un índice del follaje de la planta sobre una base de peso seco. Una medida de la inversión productiva de la planta, porque esto se ocupa del gasto relativo en fotosintetizar potencialmente los órganos. La proporción entre el peso seco total de hoja y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990).

2.9.5 Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica (AFE) es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón de la área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de nitrógeno (Bultynck, 1999). En este sentido, el contenido de N en las plantas, disminuye durante el crecimiento, y presenta una alta correlación con la acumulación de materia seca, más que otros parámetros, y para cualquier estadio de crecimiento o edad de rebrote.

El AFE varía con la intensidad lumínica o época del año. Las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica, además de elevadas concentraciones de N en hojas. Una elevada AFE incrementa la fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido, mientras que las hojas más densas y con menor AFE, tienen

correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de Nitrógeno (Pérez, 2004)..

El AFE en pocas palabras es el área medida de las hojas por unidad de peso de las hojas, siendo una medida indirecta del espesor de las hojas, con valores altos para hojas delgadas y valores bajos para hojas gruesas (Rodríguez, 2006).

2.10 Características generales de los cultivos utilizados

2.9.1 Calabacita (*Cucúrbita pepo* spp.)

La calabacita (*Cucúrbita pepo* spp.), pertenece al género *Cucúrbita*, uno de los géneros cultivados más importantes económicamente. Está compuesto por aproximadamente veintidós especies salvajes y cinco especies cultivadas (Decker, 1988). Estas especies son *C. pepo*, *C. moschata*, *C. maxima*, *C. ficifolia* y *C. argirosperma*, siendo las tres primeras (*C. pepo*, *C. moschata* y *C. maxima*), las más importantes económicamente y las más ampliamente distribuidas. *Cucúrbita* es un género Americano, caracterizado por sus hojas grandes palmeadas, por sus flores amarillo-anaranjadas productoras de néctar y polinizadas por abejas, y por sus frutos grandes, duros, esféricos e indehiscentes. La mayoría de las especies de este género son mesófitas, con sistemas radiculares fibrosos y monoicas (Paris, 2001)

Existen ocho variedades botánicas o morfo tipos comestibles diferentes de *Cucúrbita pepo* clasificadas en función de la morfología de sus frutos y confirmado por análisis con marcadores moleculares (Paris y Janick, 2005). Estas ocho variedades son Pumpkin, Vegetal Marrow, Cocozelle y Zucchini, pertenecientes a *Cucúrbita pepo* spp. *pepo*; y Scallop, Acorn, Crookneck y Straightneck de la subespecie ovífera

La mayoría de las variedades presentan un desarrollo reproductivo temprano (la primera flor aparece en el primer nudo), mostrando tres etapas sexuales a lo largo

del desarrollo longitudinal de la planta. Una primera etapa en la que todas las flores son masculinas, durante los 4-8 primeros nudos dependiendo de la variedad; una segunda etapa mixta, donde aparecen flores masculinas y femeninas en proporciones variables; y una última etapa femenina, en la que solo se desarrollan flores femeninas. Este patrón de expresión sexual está muy influenciado por las condiciones ambientales, de manera que en la temporada de primavera-verano, con condiciones de día largo, y con temperaturas y radiación elevadas, se produce una masculinización de la planta, lo que da lugar a un retraso en la aparición de la primera flor femenina y a la disminución del número de flores hembras por planta, llegando a desaparecer en algunas variedades la fase final femenina (Peñaranda, *et al.* 2007).

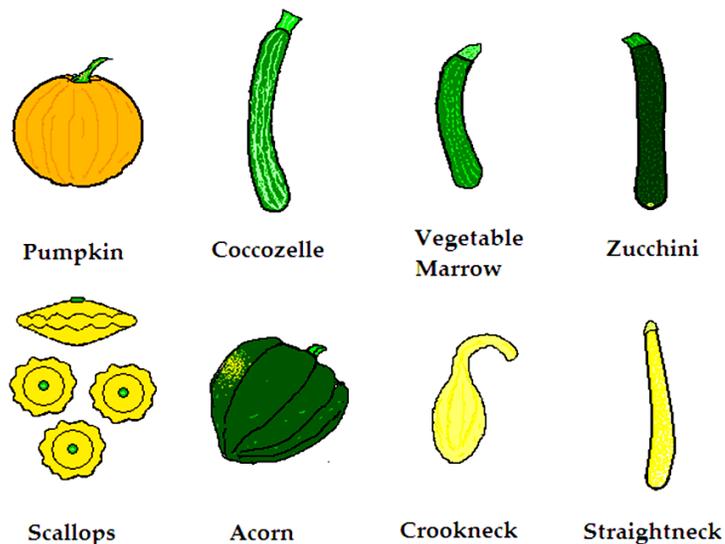


Figura 2.4 Tipos de frutos de ocho variedades de calabacita (Fuente: Rosales, 2007).

2.9.2 El cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum* L.)

El centro de origen y domesticación de *Capsicum annuum* es Mesoamérica. México es el país que presenta la mayor variabilidad de formas cultivadas y silvestres, la cual se encuentra ampliamente distribuida en todo el país. Esta diversidad ha sido descrita con base en la clasificación comercial de los frutos,

realizada dentro de diversos tipos de chile (Pozo, et al. 1991). Esta especie agrupa la gran mayoría de los tipos cultivados en México, entre los que destacan: ancho, serrano, jalapeño, morrón, mirasol, pasilla y mulato. Además, presenta la mayor variabilidad en cuanto a tamaño, forma, y color de los frutos, los cuales pueden variar de 1 a 30 cm de longitud, con formas alargadas, cónicas o redondas y cuerpos gruesos macizos o aplanado. Los frutos presentan coloración verde o amarilla cuando están inmaduros; roja, amarilla, anaranjada o y café en estado maduro.

El pimiento pertenece a la familia de las Solanáceas y su nombre botánico es *Capsicum annuum* L. Es una planta herbácea, anual, de tallos ramosos que parten de un tallo principal, el cual parte y se ramifica entre los 10 a 40 cm (según la variedad) en dos, tres ramas que a su vez se bifurcan en forma dicotómica. Este armazón está provisto de hojas y yemas que dan lugar a tallos secundarios. Los frutos van insertados en las ramas principales y más tardíamente en las ramas secundarias, siendo los frutos mejor formados y de mejor calidad los de las ramas principales. La altura de la planta en invernadero es variable, dependiendo de la variedad y de la postura, temprana o más tardía, pero por regla general se puede decir que oscila entre 1 y 2 m. Los tallos del pimiento son muy frágiles y se parten con facilidad a la menor presión; por ello y debido a la altura que ya hemos expresado tienen, necesita tutores para mantener un porte de planta firme. La raíz del pimiento en condiciones normales, es pivotante y bastante profunda (0.50 a 1.25 m), aunque en los invernaderos del sureste peninsular español, esta profundidad está limitada por la profundidad del suelo y por la textura de la tierra. Tiene numerosas raíces fasciculadas que van en sentido horizontal llegando a tener una longitud de 0.50 a 1 m (Camacho, 2003).

Existen muchos tipos de pimientos según los clasifiquemos por su forma, color, sabor, grosor, tamaño, aptitud, entre otros aspectos. Respecto a colores, los más solicitados son los verdes y rojos, aunque existe un mercado minoritario que demanda el color amarillo.

Castillo, *et. al*, 2004 proponen las siguientes necesidades climáticas para el cultivo de pimiento: En cuanto a la temperatura en la etapa de crecimiento la temperatura óptima es de 20 a 25°C siendo la mínima de 14°C y la máxima de 35°C, durante la etapa de cuajado la temperatura óptima es de 25° mientras que la mínima está entre 18 y 20°C y la máxima permanece en el límite de 35°C, la planta detiene su crecimiento por debajo de los 10°C y por encima de los 35°C. En cuanto a la humedad relativa (HR) en periodo de crecimiento admite HR superiores a 70%. Pero en periodo de floración y cuajado la humedad relativa óptima está entre el 50-70%, con humedades superiores se corre el riesgo de padecer enfermedades criptogámicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio experimental

3.1.1 Localización

El experimento fue realizado en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

3.1.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1987) el clima de Saltillo corresponde a un seco estepario, con fórmula climática BSoK (x') (e').

Donde:

Bs: Seco (árido y semiárido)

BSo: Es el clima más seco de los BS.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18 °C.

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

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

En general la temperatura y a precipitación pluvial media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente entre Julio 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.

3.2 Descripción de las películas evaluadas

Se evaluaron las propiedades ópticas de 32 películas en el mes de agosto de 2009 (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Composición de las películas a evaluar.

Fórmula	Concentración de nanopartículas de óxido de zinc				
	%	0	0.025%	0.05%	0.1%
PE/EVA/PE	20/60/20	X			
PE/EVA/PE	20/60/20		X		
PE/EVA/PE	20/60/20			X	
PE/EVA/PE	20/60/20				X
PE/EVA/PE	30/40/30	X			
PE/EVA/PE	30/40/30		X		
PE/EVA/PE	30/40/30			X	
PE/EVA/PE	30/40/30				X
PE/EVA/PE	40/20/40	X			
PE/EVA/PE	40/20/40		X		
PE/EVA/PE	40/20/40			X	
PE/EVA/PE	40/20/40				X
PE,EVA	88/12	X			
PE,EVA	88/12		X		
PE,EVA	88/12			X	
PE,EVA	88/12				X
CIQA PE*		X			
CIQA PE*			X		
CIQA PE*				X	
CIQA PE*					X
CIQA PE**		X			
CIQA PE**			X		
CIQA PE**				X	
CIQA PE**					X
CIBA 1		X			
CIBA 1			X		
CIBA 1				X	
CIBA 1					X
CIBA 2		X			
CIBA 2			X		
CIBA 2				X	
CIBA 2					X

PE* Polietileno sin agente perlescente, PE** Polietileno con agente perlescente.
Todas las películas son calibre 720

Se utilizaron ocho formulaciones base para la elaboración de las películas probadas (Cuadro 3.1). La primera formulación fue una película tricapa con el 20% de PE en las capas exteriores y el 60% de EVA en la capa intermedia; la segunda también una película tricapa con el 40% de PE en las capas externas y el 20% de EVA en la capa intermedia; una película con el 88% de PE y 12% de EVA en otra; también se utilizaron dos películas de patente CIQA con y sin agente perlesente y dos películas de formulaciones CIBA.

A las formulaciones base se les agrego una concentración de nanopartículas de óxido de zinc a una concentración baja de 0.025 %, una concentración media de 0.05 % y una concentración alta de 0.1 %, para cada una de la formulaciones se tomó como referencia una película a la que no se le agregaron las nanopartículas denominada concentración cero (Cuadro 3.1).

Para esta evaluación se montaron películas, calibre 720, en estructuras de forma cilíndrica de un metro de largo por veinte centímetros de diámetro; dentro de las cuales (Figura 3.1) se colocaron los sensores de radiación UV, PAR y radiación difusa.



Figura 3.1 Evaluación de las propiedades ópticas de las diferentes películas en campo.

3.3 Equipos utilizados para la toma de datos

3.3.1 Radiación total

La radiación total fue medida con un piranómetro modelo SP-110 marca Apogee Instruments inc. Este sensor tiene una celda de silicón en la parte superior y esta calibrado para medir el espectro de la radiación total, puesto que la evaporación del agua del suelo y la transpiración de agua por las hojas de las plantas está parcialmente determinada por la radiación de onda corta incidente, las unidades de medición pueden ser $J/m^2 \cdot \text{seg}$ ó $Watts/m^2$. Todos los modelos de piranómetros marca Apogee cuentan con una calibración exacta de cinco $Watts/m^2$ en cada impulso en mV. Un piranómetro ideal mediría el espectro solar entre los 280 y 2800 nm; sin embargo, alrededor del 90% de la energía solar se encuentra entre los 300 a 1100 nm. Estos sensores fueron colocados dentro de los microtúneles en la parte central y por encima del follaje de las plantas para evitar el sombreado por el follaje.

3.3.2 Radiación fotosintética activa (PAR) y radiación difusa

Al igual que los sensores de radiación total, dentro de los túneles se colocaron los sensores de radiación fotosintética activa y radiación difusa, modelos FB3 y BF2 de la marca Delta-T Device. El modelo BF3 es capaz de tomar lecturas de radiación total, radiación fotosintética activa y radiación difusa, las unidades de salida son $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, $Watts/m^2$ y kilo lux (Klux). Además, se determinó la transmisión de radiación solar dentro de los microtúneles comparándolos con un sensor en el exterior.

La diferencia que existe entre los sensores BF3 y BF2 es que estos últimos sólo tienen la capacidad de medir la radiación fotosintética activa en $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ y la radiación difusa en las mismas unidades.

3.3.3 Radiación ultravioleta

La radiación UV fue monitoreada con un sensor marca Apogee Instruments inc. modelo SU-100, este sensor puede detectar el rango de longitud de onda entre 200 y 400 nm en unidades de $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La parte superior del sensor en forma de cúpula para evitar la acumulación de agua y evitar la condensación interna en ambientes húmedos. Este sensor es particularmente útil para medir la capacidad de filtración de la radiación UV en películas plásticas transparentes.

3.3.4 Temperatura y humedad relativa

Para la medición de estos parámetros se utilizaron sensores tipo HOBO modelo U 23-001 de la marca Onset, tienen una alta precisión y tiene una carcasa que les permite su utilización en intemperie y entornos de alta condensación, este sensor cuenta con un puerto USB óptico para transferir los datos del sensor a la computadora, las unidades de medición en los que se obtienen las lecturas es en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%). Cuentan con una batería de litio de 3.6 volts que tiene una vida útil de tres años, los intervalos de tiempo para la toma de mediciones en este caso fue de 12 horas de 8 de la mañana a 8 de la noche.

3.3.5 Almacenamiento de los datos

Para poder controlar todos los sensores, se utilizó un data logger modelo DL-2 de la compañía Delta-T Divice, este aparato tiene la capacidad de mandar impulsos eléctricos a todos los sensores a la vez y recibir la lectura para almacenarla en su memoria. Este data logger tiene sesenta canales disponibles por lo que es capaz de almacenar el mismo número de mediciones en una sola exhibición. La recuperación de los datos se realiza mediante una computadora conectada al data logger por medio del puerto serial, los datos fueron recuperados por lo menos una vez por semana.

3.3.6 Medición del área foliar

El área foliar de las plantas fue determinada en un equipo LI-3100 de la marca Licor Biosciences de lectura digital, resolución ajustable y alta repetitividad. Las dimensiones de las muestras que se pueden medir con una resolución de 1 mm² son muestras de 25.4 cm de ancho como máximo y de 1.5 a 3.0 mm como mínimo, con resolución de 0.1 mm² admite muestras de 7.5 cm de ancho máximo y 0.5 a 1.5 mm de ancho mínimo. El espesor es regulable por el usuario hasta 2 cm, expandible por el usuario hasta 2.5 cm. La velocidad de la cinta transportadora: 6.7 cm/s.

3.3.7 Medición de fotosíntesis

Se registraron los datos de la fotosíntesis, conductividad estomática y resistencia estomática en ambos periodos de análisis, en un medidor de fotosíntesis modelo LI-1600 de la casa comercial Li-cor Biosciences, que puede tomar lecturas directas.

3.4 Determinación de las propiedades mecánicas de las películas.

Las propiedades mecánicas como resistencia al impacto, resistencia a la tensión y elongación, así como el envejecimiento acelerado se realizaron en el laboratorio de pruebas fisicomecánicas del CIQA.

La determinación de la resistencia al impacto se realizó mediante el procedimiento indicado en el método de prueba ASTM-D-1709-04 por caída libre de dardo. Mientras que para la determinación de la resistencia a la tensión y para la elongación se siguió el procedimiento indicado en el método de prueba ASTM-D-882-02.

3.5 Fase de evaluación con cultivo

La evaluación fue realizada en dos periodos de cultivo, otoño-invierno durante el año 2009 con un cultivo de calabacita (*Cucúrbita pepo spp.*) y durante el periodo primavera-verano en el año 2010 con un cultivo de pimiento (*Capsicum annum L.*).

3.5.1 Preparación del terreno y colocación de los microtúneles

El acondicionamiento del terreno en donde se estableció el experimento fue realizado en el mes de septiembre del 2009, se levantaron diez camas de un metro de ancho por aproximadamente veinte metros de largo y fueron cubiertas con un plástico acolchado coextruido plata/negro con perforaciones al centro (Figura 3.2).



Figura 3.2 Camas para la siembra de calabacita.

Para la construcción de los micro túneles se colocaron cuatro varillas de media pulgada en forma de arco con una separación aproximada de 1.6 metros, de tal manera que las dimensiones del túnel fueron aproximadamente de dos metros de alto por dos de ancho y cinco metros de largo; las varillas fueron sujetadas por tiras de alambro para darle resistencia a la estructura (Figura 3.3) que sirvió

como el soporte para las películas. En campo se distribuyeron de tal manera que se construyeron dos micro túneles por cama con un espaciamiento de cinco metros entre túneles y se dejó un espacio de dos metros de longitud del inicio de la cama al primer túnel.



Figura 3.3 Estructura de los microtúneles con varilla y alambrón

Una vez establecidas las estructuras de los microtúneles, se colocaron las películas a evaluar, sobre la estructura del microtúnel. Se colocó un perfil sujetador en donde se colocaron dos extremos de las películas, hacia los costados se dejó caer la película hasta el suelo en donde se sujetó con tierra en ambos lados, en la parte trasera y frontal se cubrió con película del mismo tipo sujetándola con alambre al arco de la estructura (Figura 3.4).



Figura 3.4 Estructura revestida con la película.

3.5.2 Establecimiento del cultivo

Para la temporada otoño-invierno del año 2009, se realizó la siembra directa de la calabacita (*Cucúrbita pepo spp.*) el día 21 de octubre, la semilla fue colocada al centro de la cama con una separación entre plantas de 40 centímetros.

En la temporada primavera-verano del año 2010 (24 de abril), se trasplanto en cultivo de pimiento (*Capsicum annuum L.*) de 40 de días de edad. El trasplante se hizo en las camas del periodo anterior añadiendo al acolchado perforaciones nuevas a los costados para tener un espaciamento entre hileras de 40 cm y 30 cm entre plantas.

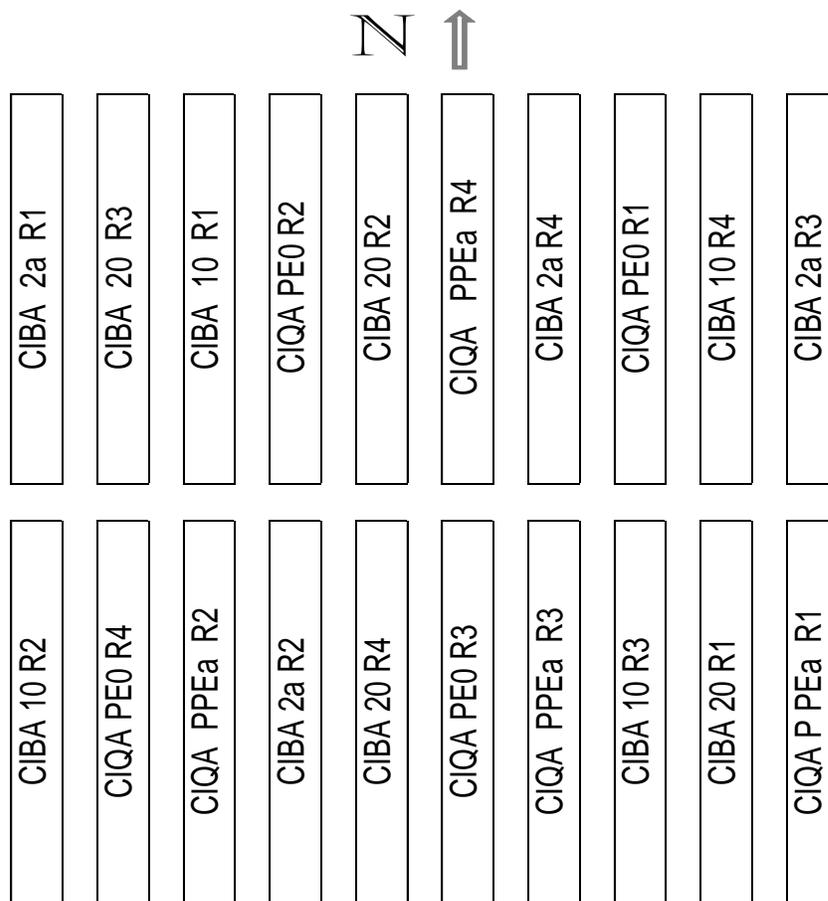
3.5.3 Material vegetal utilizado

Para el periodo otoño invierno se utilizó un híbrido de calabacita llamado Sunny delight de la casa comercial Petossed, este tipo de calabacita tiene forma rómbica y es de color amarillo brillante, se puede cosechar en etapa temprana o dejar madura hasta alcanzar un diámetro de cinco a ocho centímetros.

Durante el ciclo primavera-verano se trabajó con un híbrido de pimiento morrón llamado Striker de la casa comercial Seminis, es un pimiento tipo blocky de color amarillo y buena firmeza.

3.6 Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó para la evaluación fue un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones (Figura 3.5), los tratamientos fueron las cubiertas de mejor propiedades ópticas y mecánicas obtenidas en la primera etapa. En campo cada tratamiento tuvo cuatro microtúneles de cinco metros de largo por dos metros de ancho y dos metros de altura.



Esquema 3.1 Croquis de los tratamientos.

3.6 Metodología para toma de datos y análisis de datos

3.6.1 Determinación de la radiación

Los datos de radiación total, radiación fotosintética activa (PAR), radiación difusa y radiación ultra violeta (UV) fueron almacenados en el data logger cada hora, éstos fueron el promedio de seis mediciones en una hora.

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

Para la selección de las películas se utilizaron datos de un día completamente soleado, mientras que para las etapas de evaluación en campo con dos cultivos diferentes los datos que se presentan son el promedio de cinco días completamente soleados. Las series de datos fueron organizados en Excel, para realizar las curvas características del comportamiento de la radiación dentro y fuera de los microtúneles.

3.6.2 Determinación de los parámetros fisiológicos

En el primer periodo de siembra se reportan datos de materia fresca como peso de tallos y hojas estos datos fueron tomados en los días que se llevaron a cabo los muestreos, antes de meter las plantas a la estufa, se separaron los órganos de las plantas y fueron pesados y medidos por separado.

El diámetro basal y la altura de las plantas se tomaron en laboratorio al realizar el muestreo destructivo de las plantas.

3.6.3 Determinación de materia seca

Todas las muestras de los dos periodos de producción se secaron en una estufa con recirculación de aire a 75°C por 72 horas y obtener el peso seco para obtener el análisis de crecimiento.

3.7 Determinación de los índices de crecimiento

La determinación de los parámetros de crecimiento son calculados mediante las fórmulas propuestas por Hunt, (2002).

3.7.1 Tasa de asimilación neta (TAN)

La eficiencia fotosintética de las plantas se expresa en términos de la TAN y se calcula mediante:

$$TAN = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} * \frac{\text{Log } e LA_2 - \text{Log } e LA_1}{LA_2 - LA_1}$$

Donde:

E = Tasa de asimilación neta

W₁ = Peso seco total en el tiempo uno

W₂ = Peso seco total en el tiempo dos

t₁ = Tiempo uno

t₂ = Tiempo dos

log e = Logaritmo base e

LA₁ = Área foliar en el tiempo uno

LA₂ = Área foliar en el tiempo dos

Unidades = g cm⁻² día⁻¹ ó g m⁻² día⁻¹

3.7.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$TCR = \frac{\text{Log } e w_2 - \text{Log } e w_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

TCR = Tasa de crecimiento relativo

Log e = Logaritmo base e

W_2 = Peso seco del componente en tiempo dos

W_1 = Peso seco del componente en tiempo uno

T_2 = Tiempo dos

T_1 = Tiempo uno

Unidades de medida = $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ó $\text{mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$

3.7.3 Razón de área foliar (RAF)

Se puede definir como la relación que existe entre el área foliar y el peso seco total de la planta (Hunt, 1990), los cálculos se realizan mediante la siguiente expresión:

$$RAF = \frac{\frac{LA_1}{W_1} + \frac{LA_2}{W_2}}{2}$$

Donde:

F = Razón de área foliar

LA_1 = Área foliar en el tiempo uno

LA_2 = Área foliar en el tiempo dos

W_1 = Peso total en el tiempo uno

W_2 = Peso total en el tiempo dos

Unidades = $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ó $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$

3.7.4 Razón de peso foliar (RPF)

La proporción entre el peso seco total de las hojas y el peso seco total de la planta. La ecuación para su determinación se presenta a continuación.

$$RAF = \frac{\frac{LW_1}{W_1} + \frac{LW_2}{W_2}}{2}$$

Dónde:

LWR = Razón de peso foliar

LW₁ = Peso seco foliar en el tiempo uno

LW₂ = Peso seco foliar en el tiempo dos

W₁ = Peso seco total en el tiempo uno

W₂ = Peso seco total en el tiempo dos

Unidades de medida = Adimensional

3.7.5 Área foliar específica

Es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética, se calcula con la siguiente expresión:

$$AFE = \frac{RAF}{RPF}$$

Donde:

AFE = Área foliar específica

RAF = Razón de área foliar

RPF = Razón de peso foliar

Unidades = cm²g⁻¹ o m²g⁻¹

3.8 Cálculo del déficit de presión de vapor

El déficit de presión de vapor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$DVP = e_s - e_a$$

Donde:

DPV.- Déficit de presión de vapor (kPa). Se reporta en MPa

e_s = presión de vapor a saturación;

e_a = presión actual

$$e_s = e^{(19.0177 * \frac{5327}{T+273})}$$

Donde:

e = base de los logaritmos naturales

T = temperatura del aire (°C) y

e_s = presión de vapor a saturación (KPa)

$$e_a = e_s * \frac{HR}{100}$$

Donde:

e_a = presión de vapor de agua actual

HR = humedad relativa en porcentaje

e_s .- presión de vapor a saturación (kPa)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento óptico de las películas tricapa de PE/EVA/PE (20/60/20)

En este grupo de películas (Figura 4.1) se observó que en todas sus variantes de concentración de nanopartículas (cero, 0.025%, 0.05% y 0.1%), tuvieron un efecto similar en cuanto al paso de la radiación PAR. La cantidad de radiación varió en el interior de $1750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ a $1950 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (entre el 90% y 100% de transmisión) durante el periodo con máxima intensidad de radiación, por lo que se puede considerar que para esta formulación y para este tipo de radiación las nanopartículas no tuvieron un efecto importante en la disminución de radiación PAR, el efecto obtenido fue básicamente aportado por el tipo de formulación; sin embargo, la película sin nanopartículas es la que mostro mayor transmisión en la PAR respecto a las demás, y esto es probablemente debido a que fue también la película que presentó un mayor porcentaje de radiación en forma difusa (Figura 4.2), impactando por lo tanto en mayor iluminación interior.

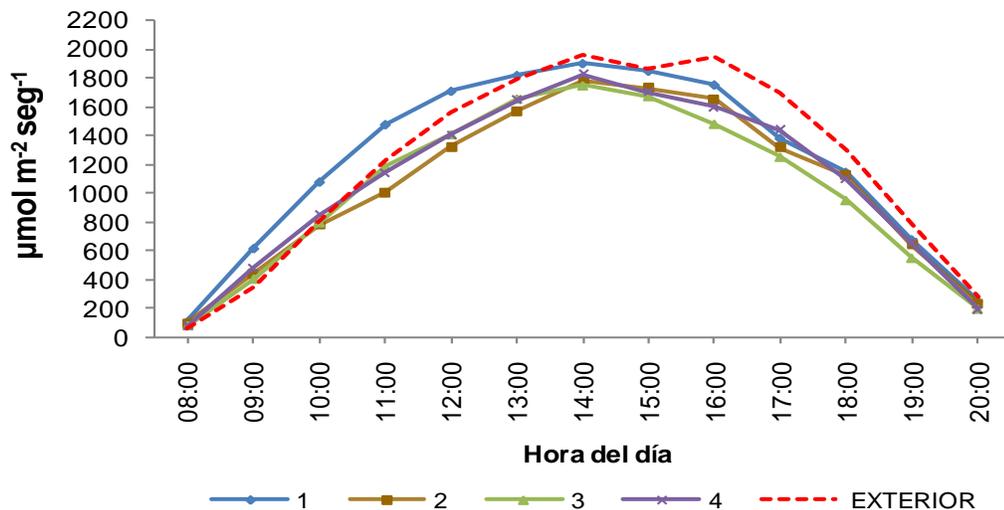


Figura 4.1 Transmisión de la radiación PAR en las películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En el caso de la radiación difusa (Figura 4.2) las cuatro películas evaluadas mostraron un efecto difusor; sin embargo, la adición de las nanopartículas en las películas disminuyó el efecto difusor. Al hacer la comparación se observó que la película sin nanopartículas fue la que presentó mejor efecto difusor.

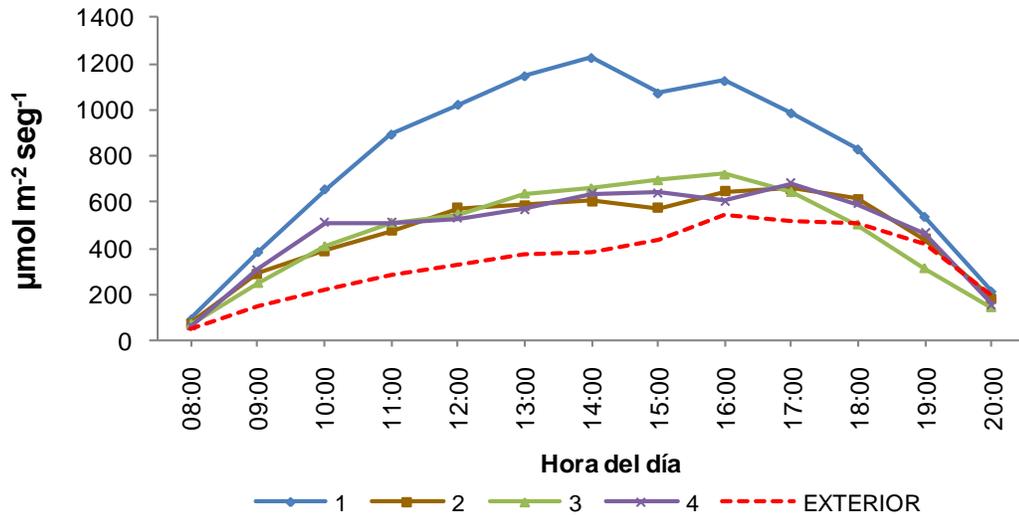


Figura 4.2 Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (20/60/20) para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a la radiación UV se observó que no existió un efecto de bloqueo de radiación con la adición de las nanopartículas (Figura 4.3), la película sin nanopartículas bloquea mejor la radiación UV (57% de bloqueo) que dos de las formulaciones con nanopartículas. Se observa que la película con mayor difusión de luz tiene mayor bloqueo de la radiación UV al igual que la formulación con el 0.1% de nanopartículas.

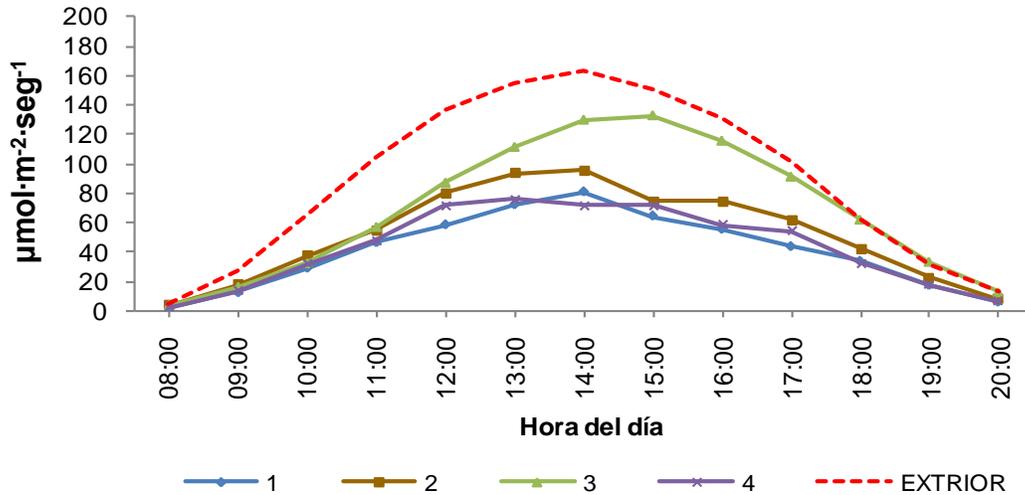


Figura 4.3 Comportamiento a la transmisión de la radiación ultra UV en películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.2 Comportamiento óptico de las películas tricapa PE/EVA/PE (30/40/30)

Para estas películas se aumentaron los porcentajes de PE en las capas exteriores y se disminuyó el porcentaje de EVA en la capa intermedia; se pudo observar que la adición de nanopartículas de óxido de zinc al igual que en las películas anteriores no disminuyeron la transmisión de las películas al paso de la radiación fotosintética, incluso en la película sin nanopartículas y la de mayor concentración presentaron los valores más elevados de radiación dentro del túnel que la radiación exterior de referencia, durante el periodo de máxima radiación los valores en el interior de estas películas estuvieron entre $1700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ y $1960 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$, lo que representa del 93% al 100% de trasmisión de la PAR, lo que resulta positivo para las películas, pero al mismo tiempo atípico (Figura 4.4).

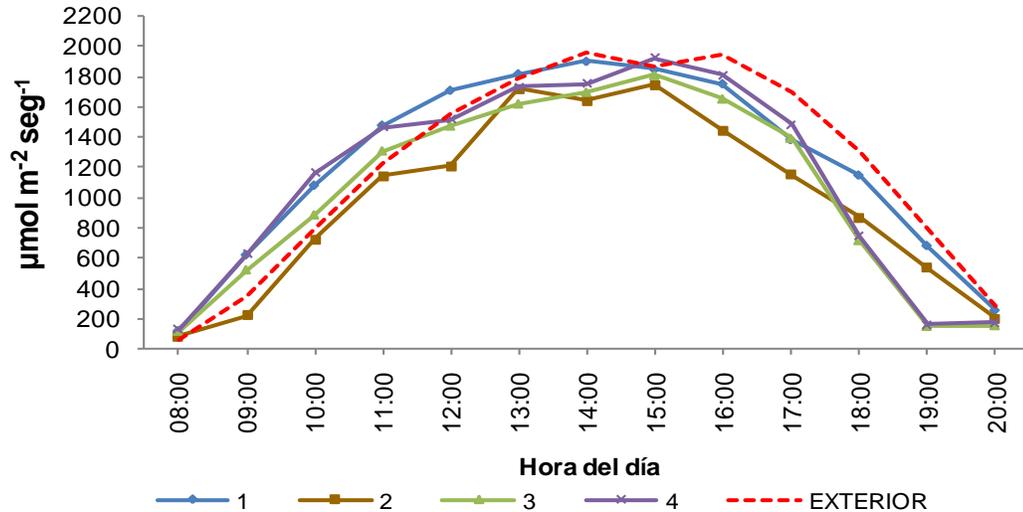


Figura 4.4 Efecto de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30) en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a la difusión de la luz, las películas a las que se les adicionaron nanopartículas presentaron valores de difusión muy similares (Figura 4.5), la concentración de las nanopartículas en diferentes grados aumento de cierta manera la capacidad para dispersar la radiación, los valores de difusión alcanzados por las películas con nanopartículas está por debajo de los 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ aproximadamente entre el 120 y 150% en los periodos de máxima radiación.

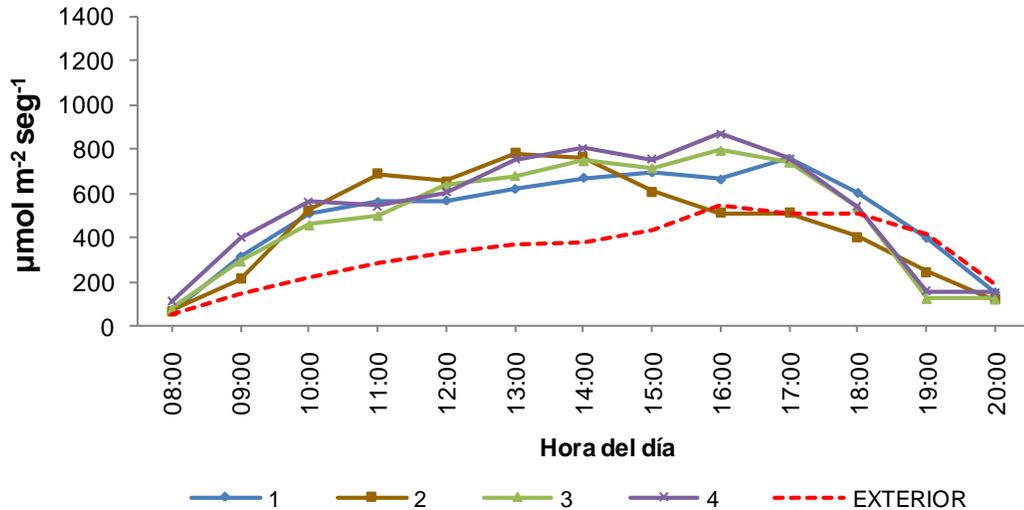


Figura 4.5 Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30) para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En las mediciones de la UV, la película con mayor concentración de nanopartículas presentó el mayor bloqueo de esta radiación; sin embargo, no existe una secuencia lógica del bloqueo en función de la concentración de las nanopartículas adicionadas a las películas (Figura 4.6). La variación puede deberse a diferencia en el espesor de las películas. La película con mayor concentración de nanopartículas alcanzó a bloquear hasta el 60% de la radiación UV durante el periodo de máxima radiación en el día, el resto de las películas bloqueaban menos del 50% de radiación UV.

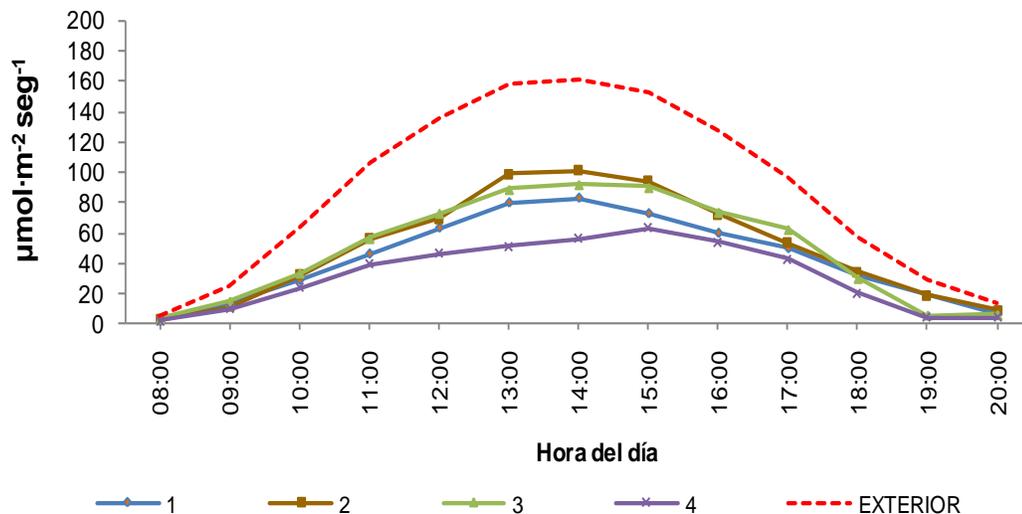


Figura 4.6 Comportamiento de las películas de PE/EVA/PE (30/40/30) a la transmisión de la radiación UV. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.3 Comportamiento óptico de las películas tricapa de PE/EVA/PE (40/20/40)

En estas películas se aumentó el porcentaje de polietileno al 40% en las capas externas y se disminuyó al 20% la capa intermedia de EVA; sin embargo, estas modificaciones en a las capas y la adición de nanopartículas en diferentes concentraciones no tuvieron un efecto considerable en la transmisión de la PAR (Figura 4.7) respecto a los grupos de películas 20/40/20 y 30/60/30. La adición de las nanopartículas a estas películas no influyó negativamente sobre la transmisión de la radiación fotosintética, incluso se puede observar que en la película con 0.05% de nanopartículas de zinc aparentemente presento una propiedad de transformación de radiación que incrementa los valores de PAR respecto a la PAR recibida en el exterior, los valores de transmisión son cercanos al 100%.

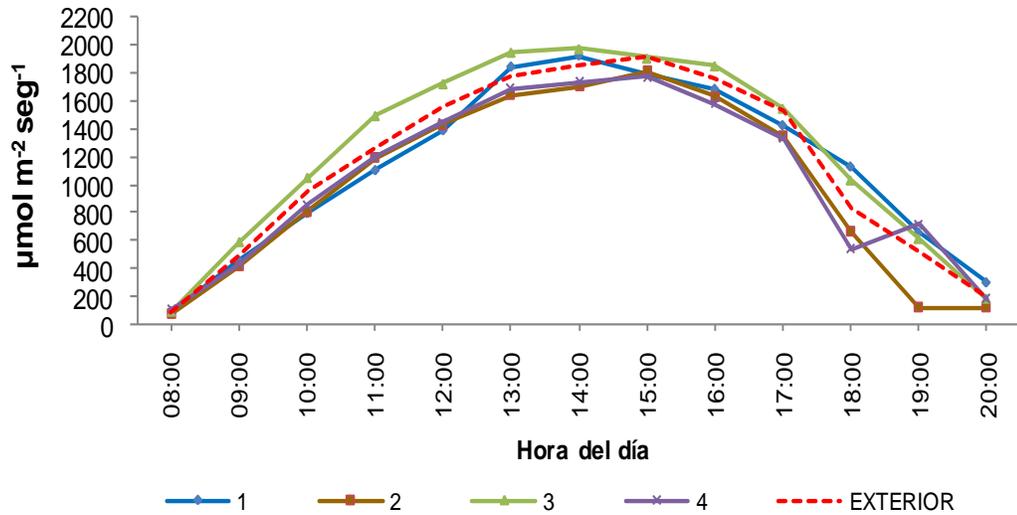


Figura 4.7 Transmisión de la PAR de las películas de PE/EVA/PE (40/20/40). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

Por su composición y acomodo de las capas de los diferentes polímeros, las películas mostraron la capacidad de difundir en cierto grado la radiación incidente en su superficie (Figura 4.8). La película con una concentración 0.05% de nanopartículas presentó una capacidad difusora alta, siendo esta misma película la que tiene una mayor cantidad de radiación PAR; sin embargo, la película con la concentración más alta de nanopartículas (0.01%) disminuye la capacidad de difusión al igual que la película con la concentración de 0.025% lo que no resulta congruente ya que si las nanopartículas tienen efecto difusor de la radiación visible se debería esperar un resultado gradual lineal en cierto grado que no se refleja en los resultados. Aparentemente se puede inferir que existe un problema de mala dispersión de las nanopartículas en la matriz polimérica que está causando también las diferencias en el espesor de las películas y dando los resultados atípicos en las propiedades ópticas. Lo que si se puede observar claramente es que existe una relación directa positiva entre la mayor difusión de la luz de las películas y el aumento en la cantidad de la radiación PAR dentro de los espacios cubiertos con estas películas.

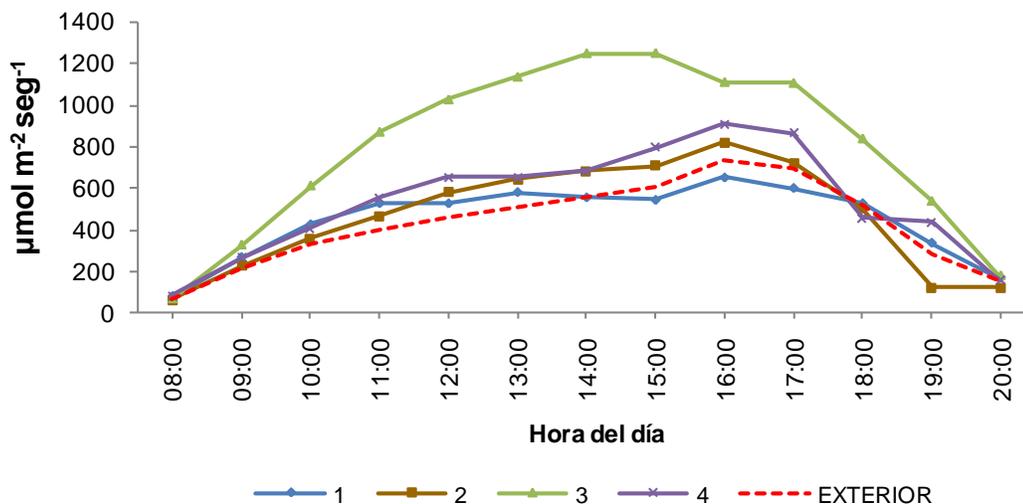


Figura 4.8 Capacidad de las películas de PE/EVA/PE (40/20/40) para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto al efecto sobre la radiación UV de estas películas, se observó un bloqueo tanto de la película sin nanopartículas como de las que tienen diferentes concentraciones de las nanopartículas de óxido de zinc respecto a la UV recibida en el exterior. Las dos películas con mayor concentración de las nano partículas bloquean mas la radiación UV que la película de referencia; sin embargo, la película que tiene la menor concentración de las nano partículas tiene menos bloque que la película de referencia lo que resulta nuevamente un poco incongruente y que de alguna manera refleja algún posible problema en la fabricación de estas (Figura 4.9).

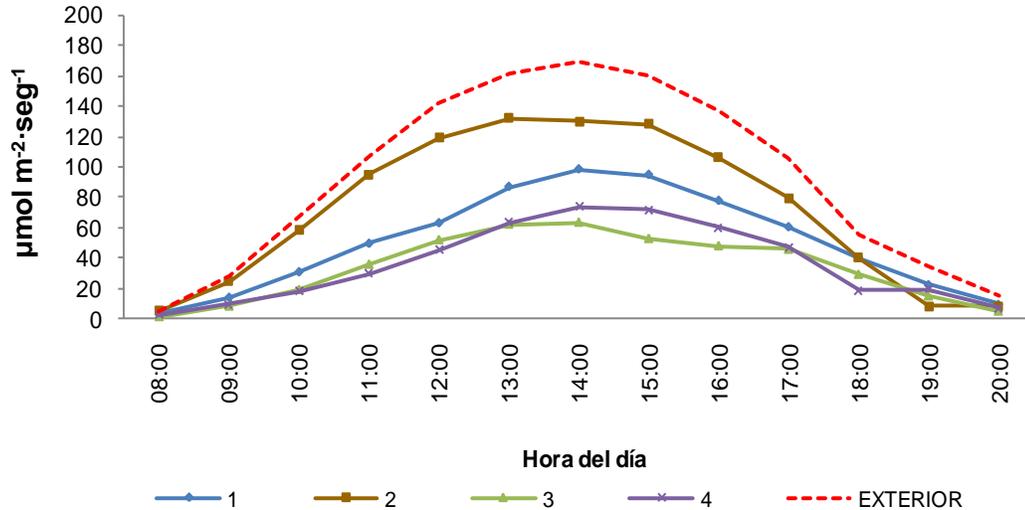


Figura 4.9 Comportamiento a la transmisión de la radiación UV de las películas de PE/EVA/PE (20/60/20). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.4 Comportamiento óptico de las películas de PE/EVA (88/12)

Esta formulación fue una mezcla de 88% de PE y 12 % de EVA, en este caso la alta concentración de nanopartículas presento un efecto no deseado en las películas puesto que disminuyó considerablemente la transmisión de la PAR hasta un 36% menos de transmisión (Figura 4.10). Reducciones drásticas de PAR pueden afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (Raffo e Iglesias, 2004). Las concentraciones más bajas e incluso la película sin adición de nanopartículas tuvieron una alta transmisión de PAR, comparable a la PAR del exterior. Se observo también que la combinación de resinas y los porcentajes que se utilizan, así como la adición de nanopartículas tienen efectos diferentes sobre las propiedades ópticas de las películas.

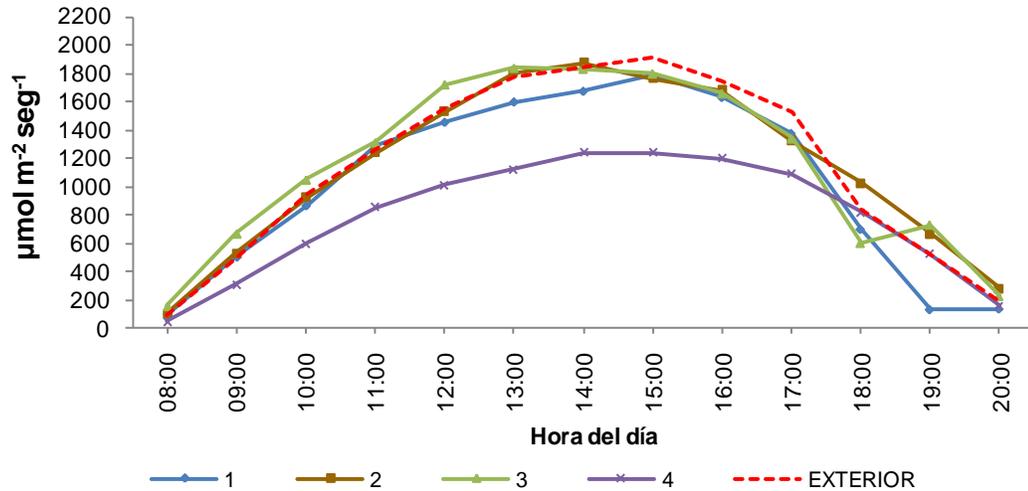


Figura 4.10 Efecto de las películas de PE/EVA (88/12) en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a la difusión, el efecto de las películas fue muy similar (Figura 4.11), no existió un comportamiento que pueda ser directamente relacionado con las nanopartículas, el poco efecto que este grupo de películas mostró está relacionado a la combinación de las resinas, se observó claramente que la mayor concentración de PE respecto al EVA disminuye la dispersión de la luz, esto quiere decir que el EVA es por naturaleza mejor difusor que el PE (Maroto, 2008), pero en este caso las nanopartículas no le impartieron un efecto difusor a la película, el cual ya se había observado en las películas anteriores.

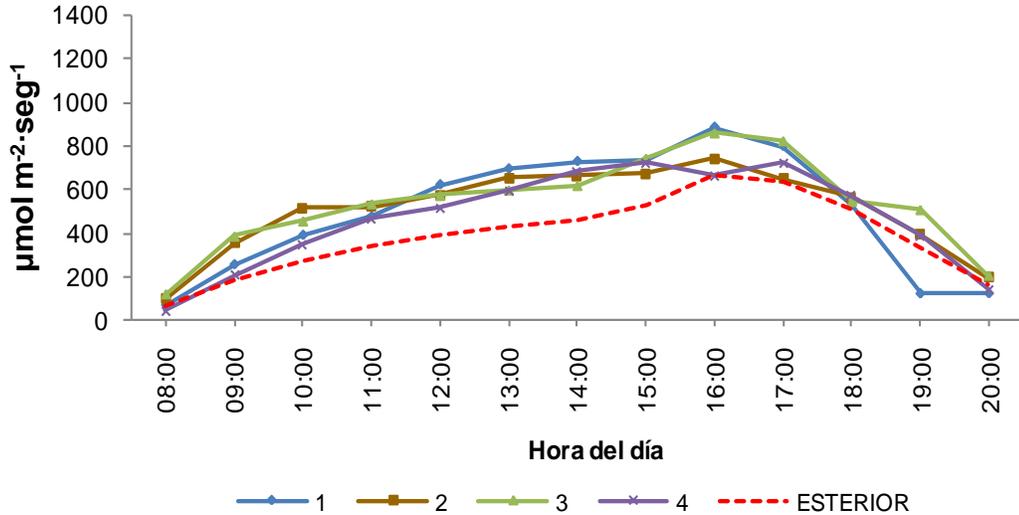


Figura 4.11 Capacidad de las películas PE/EVA (88/12) para difundir la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto al bloqueo de la radiación UV, las películas con 0.025% y 0.05% de nanopartículas de óxido de zinc tuvieron mayor bloqueo de UV transmitiendo tan solo 37% y 41% respectivamente, mientras que al 0% de concentración y con 0.1% dejaron pasar una mayor cantidad de esta radiación entre el 65% y 70% respectivamente (Figura 4.12). No se puede asegurar por el momento que las nanopartículas tengan un efecto claro del bloqueo de la radiación UV independientemente del tipo de resina que se utilice ya que en este grupo una alta concentración permite la misma transmisión de la radiación UV que la película de referencia sin nanopartículas y menor bloqueo que las concentraciones menores, mientras que en el grupo PE/EVA/PE (40/20/40) la concentración 0.01% de nanopartículas tiene igual bloqueo que la película sin las nanopartículas pero mayor bloqueo que las películas con concentraciones menores.

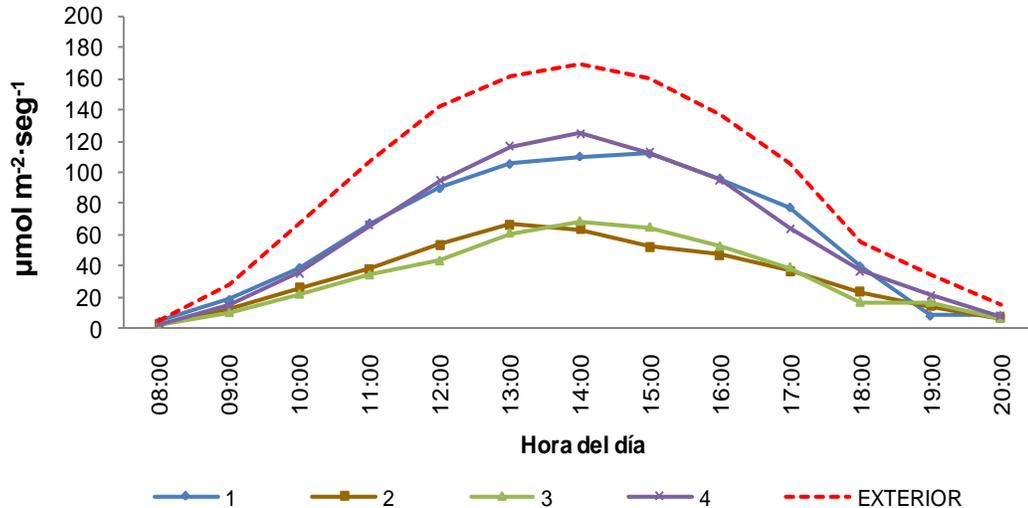


Figura 4.12 Transmisión de la radiación UV en las películas de PE/EVA (88/12). Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.5 Comportamiento óptico de las películas de PE patente CIQA

Los resultados manifestaron que todas las concentraciones tuvieron una mayor transmisión de PAR que la película sin nanopartículas comparable con la cantidad recibida en el exterior (Figura 4.13). Las películas a las cuales se les agrego alguna de las concentraciones de nanopartículas tienen una transmisión de PAR de aproximadamente $1900 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ superior al 90% de transmisión en el periodo de máxima radiación mientras que la película sin nanopartículas alcanzó apenas los $1400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ con aproximadamente el 66% de transmisión. Se puede decir que en cuanto a la transmisión en el rango de la PAR hay una aditividad de las nanopartículas con la formulación, que mejora esta propiedad óptica y que puede ser benéfico para el desarrollo del cultivo.

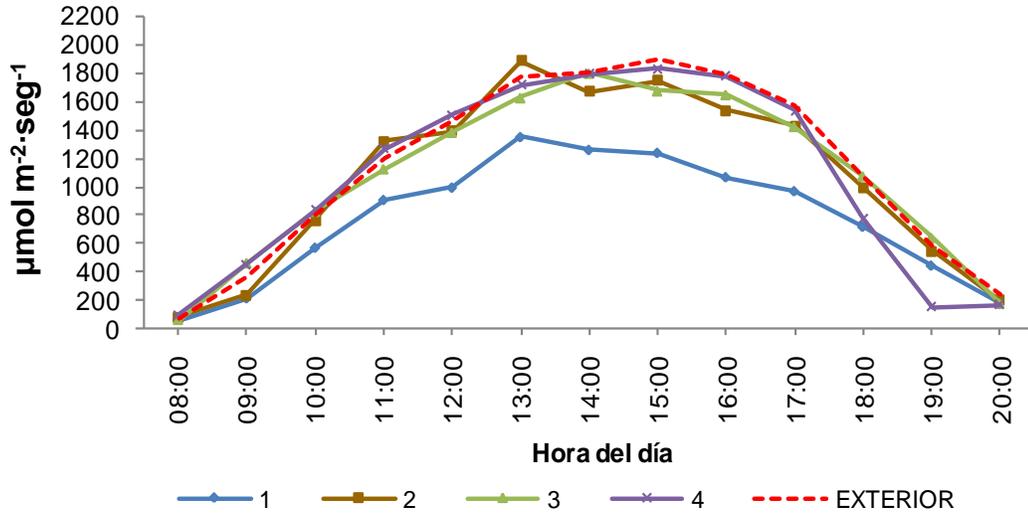


Figura 4.13 Efecto de las películas de PE patente CIQA en la transmisión de la PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a la difusión de radiación, este grupo de películas no presentan buena propiedad de difusión de la luz en general, y la adición de las nanopartículas no muestra un efecto en las películas para difundir la radiación (Figura 4.14), el poco efecto que se mostró está más directamente relacionado con la formulación en sí y es mínimo al compararlo con la radiación difusa captada en el exterior.

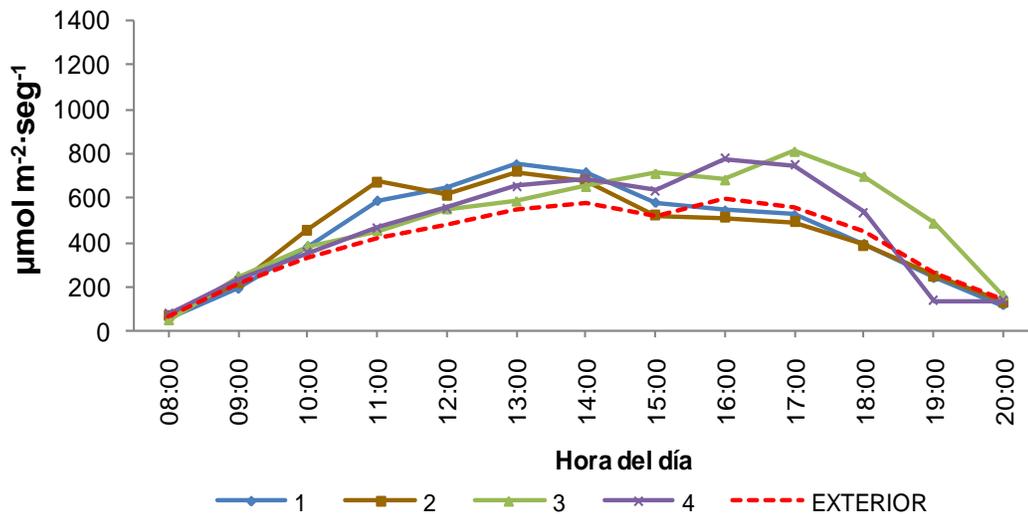


Figura 4.14 Capacidad de las películas de PE patente CIQA para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

Los resultados al bloqueo de la radiación UV, al adicionar nanopartículas a esta formulación se genera un efecto positivo de bloqueo de la radiación UV (Figura 4.15), las películas con las diferentes concentraciones de nanopartículas mostraron un efecto bloqueador considerable, entre 50% y 60% más de la radiación UV respecto a la película sin nanopartículas y con el exterior, pero sin embargo no se observan diferencias importantes entre las diferentes dosis de nanopartículas.

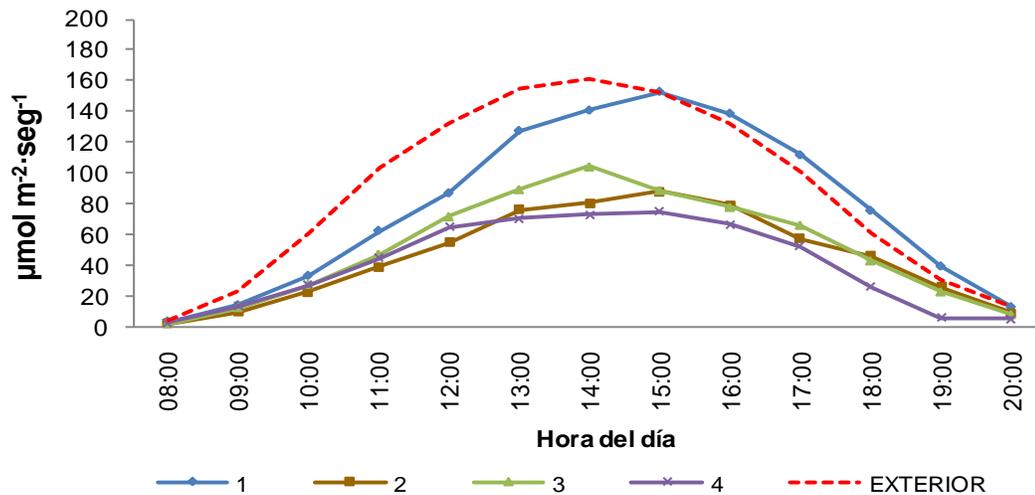


Figura 4.15 Transmisión de la radiación UV en películas de PE patente CIQA. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.6 Comportamiento óptico de las películas de PE (Patente CIQA) con un aditivo perlescente

Los resultados sobre las evaluaciones de este grupo de películas mostraron que al agregar el aditivo perlescente hay una ligera disminución en la transmisión de la radiación PAR (aproximadamente del 20%) que en determinado momento y dependiendo de la región en donde se utilice podría modular el exceso de radiación en lugares con alta incidencia de radiación ó afectar a los cultivos en lugares con poca radiación. También se pudo observar que la adición de las nanopartículas en sus diferentes concentraciones no presenta ningún efecto sobre

la transmisión de la PAR (Figura 4.16), la cantidad de PAR que se registra en el interior es considerablemente buena para el desarrollo de los cultivos.

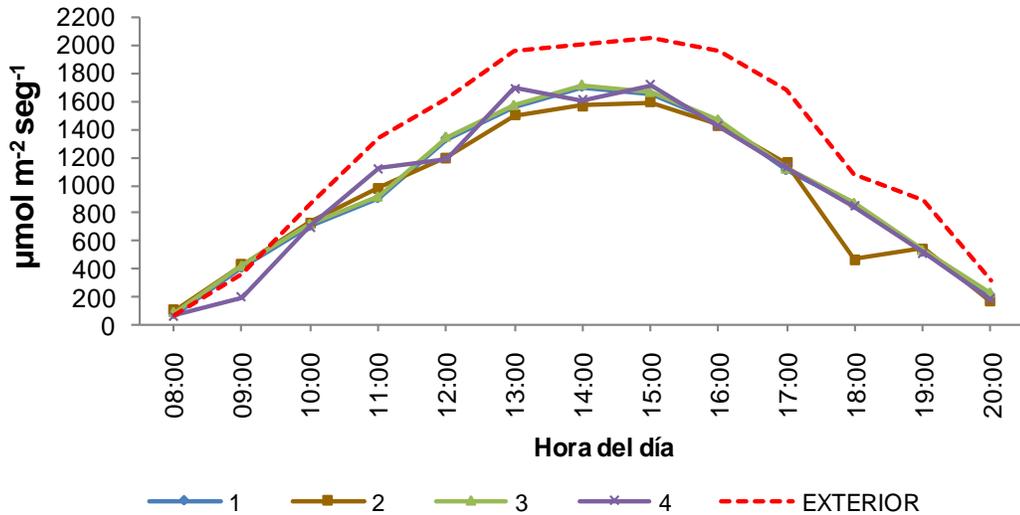


Figura 4.16 Transmisión de la PAR en películas de PE de patente CIQA con un agente perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a los resultados de difusión de la radiación, todas las películas con nanopartículas independientemente de la concentración utilizada incrementan la difusión de la luz respecto a la película sin nano partículas y a su vez todas las películas de este grupo, con y sin nanopartículas tuvieron valores superiores de radiación difusa con respecto a la radiación difusa externa de referencia (Figura 4.17).

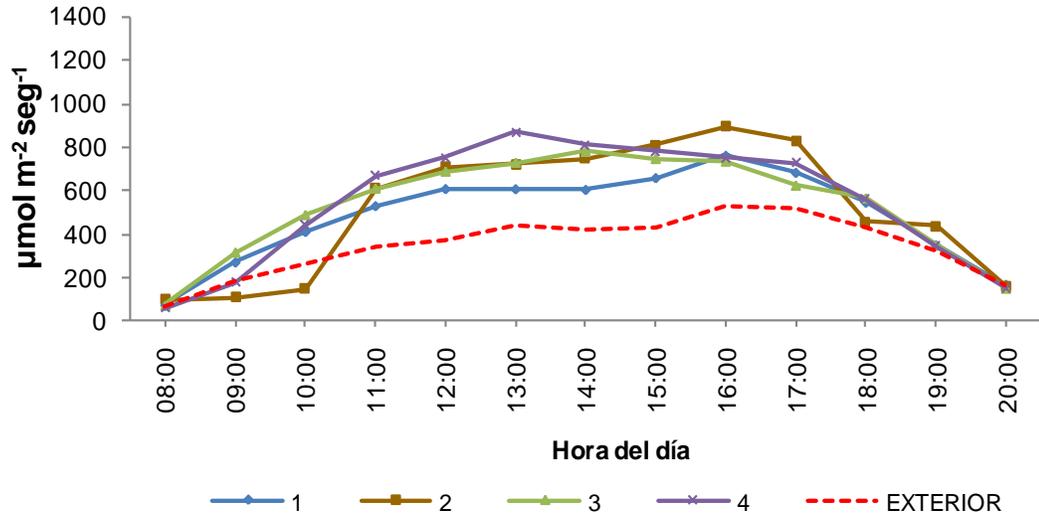


Figura 4.17 Difusión de la radiación PAR en las películas de PE de patente CIQA con un aditivo perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

Este es el primer grupo de películas que obtuvo un efecto de bloqueo de la radiación UV en función a la cantidad de nanopartículas que se adicionaron, a medida que se aumentó la concentración aumentó el bloqueo de la radiación UV (Figura 4.18), la película con mayor concentración de nanopartículas de óxido de zinc dejó pasar el 28% es decir $46 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ de $172 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ que se alcanzaron a registrar en el exterior durante el periodo de máxima insolación, mientras que la película sin nanopartículas transmitió el 53%, las concentraciones al 0.025% y 0.05% transmitieron el 38 % y 30% respectivamente para el periodo de máxima intensidad de radiación.

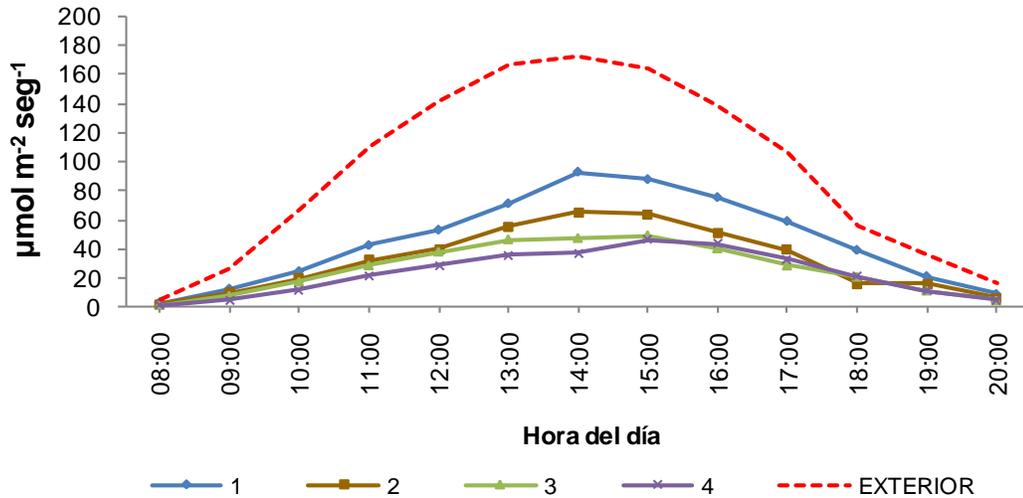


Figura 4.18 Comportamiento a la transmisión de la radiación UV de las películas de patente CIQA con un aditivo perlescente. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.7 Comportamiento óptico de las películas CIBA 1

Como se observó en el grupo anterior de películas de patente CIQA, con la formulación CIBA también hay una reducción en la transmisión de la radiación PAR respecto a la radiación recibida en el exterior y nuevamente la adición de nanopartículas en este rango de concentraciones no modifica la transmisión de la radiación (Figura 4.19).

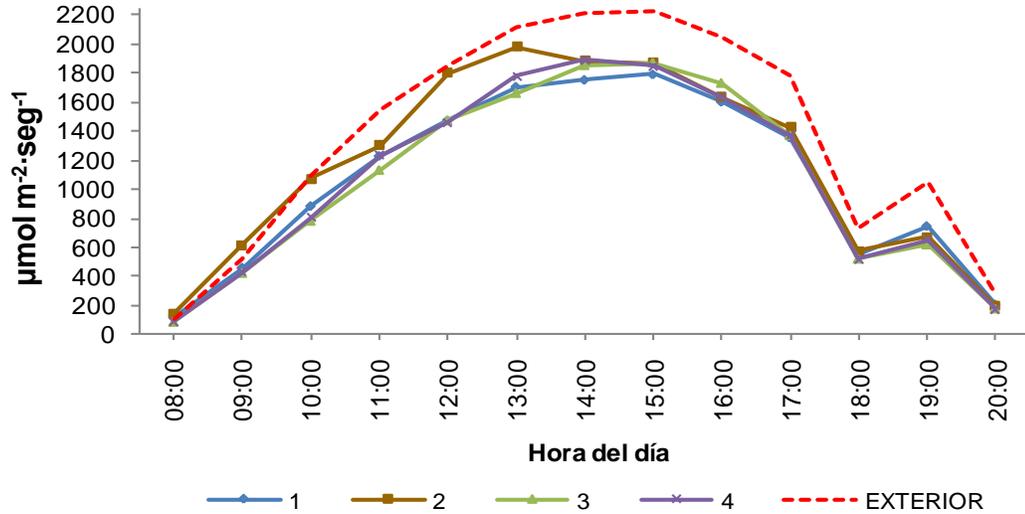


Figura 4.19 Transmisión de la radiación PAR de las películas CIBA 1. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto a la dispersión de la radiación por estas películas, podemos apreciar que las nanopartículas no tuvieron ningún efecto en la capacidad difusora de la película comercial CIBA 1 (Figura 4.20). Las lecturas que fueron registradas en el interior de los microtúneles mostraron que con o sin la agregación de las nanopartículas las películas tienen efecto difusor de la radiación, pero menor comparado a las películas de la patente CIQA.

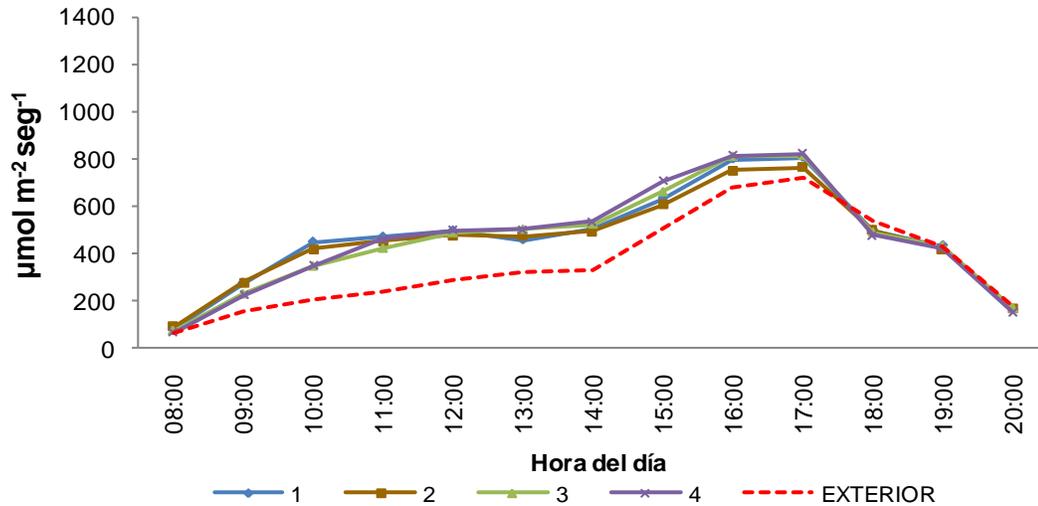


Figura 4.20 Capacidad de las películas CIBA 1 para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= cero, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

Analizando el comportamiento de la radiación UV es evidente que la formulación CIBA 1 sin nanopartículas tuvo un excelente efecto de bloqueo de la radiación UV (Figura 4.21), al adicionar diferentes concentraciones de nanopartículas este efecto en vez de aumentar disminuye, la película sin nanopartículas bloqueo la radiación UV hasta en un 90%, mientras que la película con 0.1% de concentración bloquea hasta el 78% de la radiación en este rango.

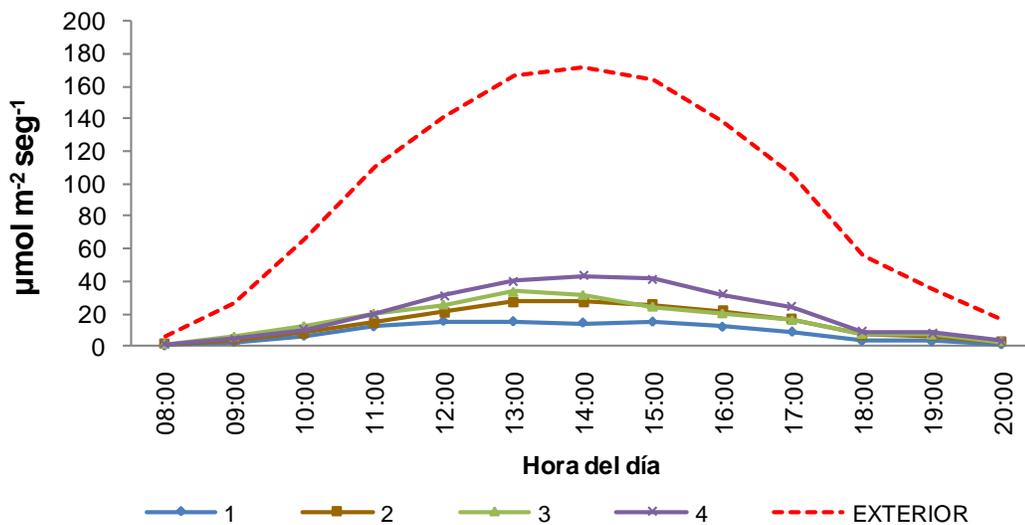


Figura 4.21 Efecto de las películas CIBA 1, en la transmisión de la radiación UV. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.8 Comportamiento óptico de las películas CIBA 2

La película sin nanopartículas de óxido de zinc mostró un efecto importante en la disminución de transmisión de la radiación PAR en un 43% respecto a la referencia exterior, por el contrario con la adición de nanopartículas en cualquiera de sus concentraciones en este grupo de películas se incrementó marcadamente la transmisión de la radiación PAR; sin embargo, no existió diferencia marcada entre las concentraciones de nanopartículas (Figura 4.22).

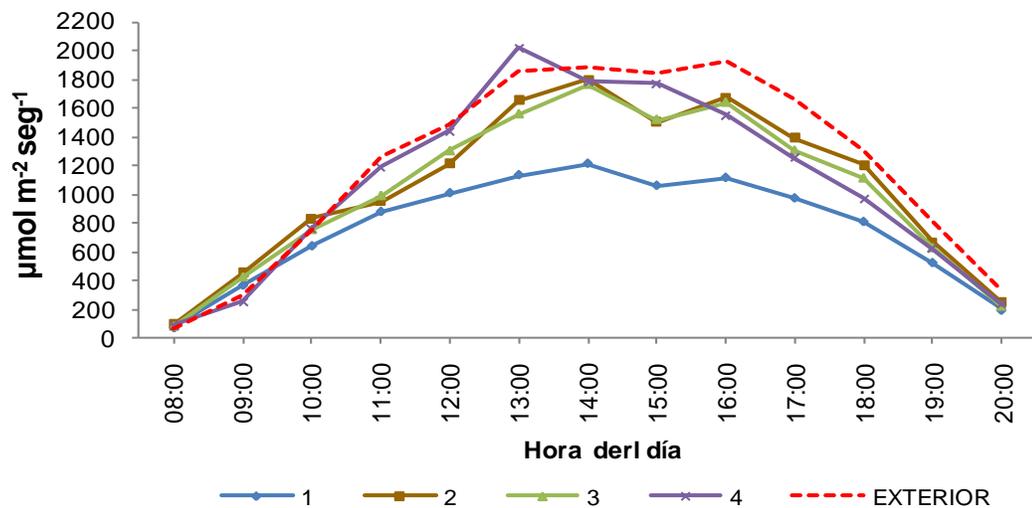


Figura 4.22 Transmisión de la PAR en las películas CIBA 2. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

La película CIBA 2 con el 0.1% de nanopartículas aumento la capacidad difusora de la radiación, mientras que en el exterior existían valores de $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ en el interior de esta película se registraron valores por arriba de los $1300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$, aproximadamente el 300% en el periodo con máxima radiación (Figura 4.23). Las películas con concentraciones menores y sin nanopartículas presentaron valores muy semejantes entre sí, pero mucho más bajos y con muy poca diferencia respecto a la difusión de luz del exterior.

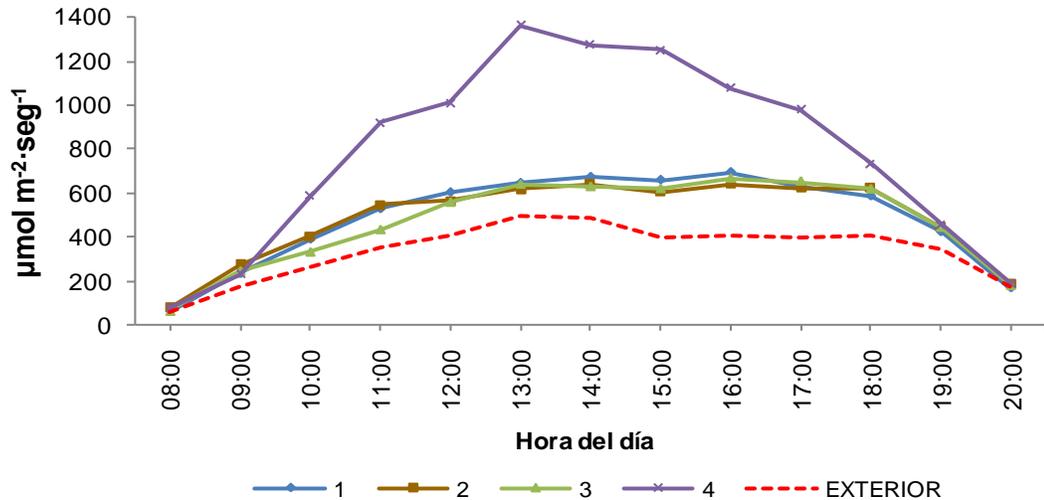


Figura 4.23 Capacidad de las películas CIBA 2 para difundir la radiación PAR. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

En cuanto al bloqueo de la radiación UV, se observó que la película con 0.1 % de nanopartículas es la que presenta hasta un 70% de bloqueo de radiación UV respecto a la registrada en el exterior y durante el periodo de máxima insolación, dejando pasar tan solo $45 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ de los $162 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ tomados en el exterior, las películas con 0.025% y 0.05% de nanopartículas mostraron también mayor bloqueo que la película sin nanopartículas (Figura 4.24).

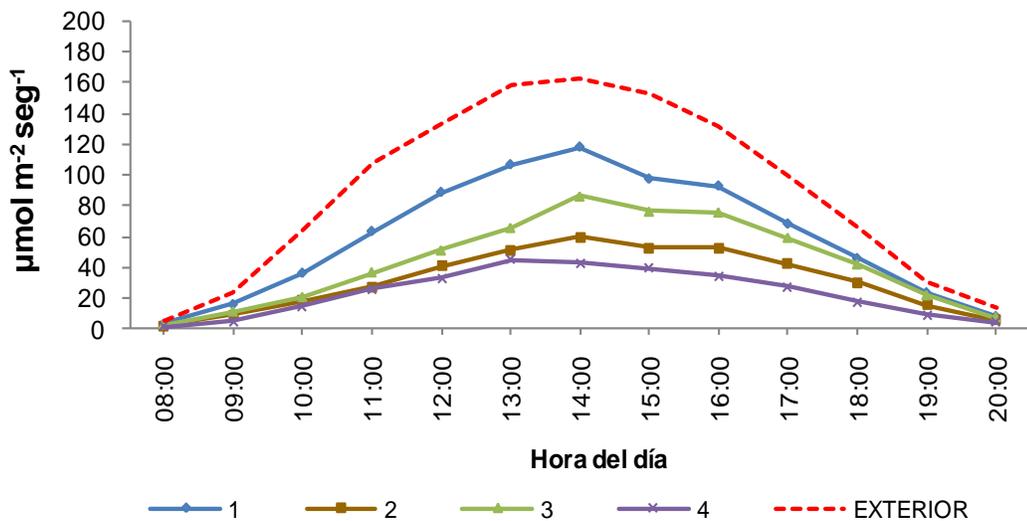


Figura 4.24 Transmisión de la radiación UV en las películas CIBA 2. Contenido de nanopartículas: 1= 0%, 2= 0.025%, 3= 0.05% y 4= 0.1%.

4.9 Selección de las películas con las propiedades ópticas deseadas

Al comparar diferentes películas y concentraciones de nanopartículas se busca que la capacidad de trasmisión de la radiación PAR no se vea afectada o que al menos las películas presenten un 80% de transmisión, de acuerdo a la norma Española para películas de invernadero UNE-EN 13206. En la capacidad para a la difusión se busca algún efecto positivo de las nanopartículas que ayude a alguna de las películas a tener una mejor capacidad dispersora de la radiación o que al menos mantenga las propiedades de dispersión de la formulación, niveles de 60% a 70% de dispersión de la luz. El efecto de protección UV es un parámetro importante en el periodo de vida útil de las películas, así como la disminución de ésta en el interior puede ayudar al control de insectos (Espí y Gracia 2009), por lo que se busca que las nanopartículas tengan un efecto de bloqueo de este rango de longitud de onda. Soler (2010), menciona que los plásticos anti-insectos deben bloquear entre el 80% y el 100% de la radiación UV, y que los aditivos utilizados no deben influir en las cualidades fotoselectivas durante toda la vida útil del plástico.

Como se describe en el subcapítulo anterior, los primeros tres grupos de películas son tricapa conformados con diferentes porcentajes de PE en las capas exteriores y EVA en la capa intermedia, las nanopartículas en estas películas no mostraron efectos negativos en la transmisión de la radiación PAR; sin embargo, en el las películas PE/EVA/PE (20/60/20) la capacidad difusora disminuyo debido a que la película sin nanopartículas mostro una mejor difusión, en las películas PE/EVA/PE (30/40/30) la difusión mostro cierta similitud inclusive un poco mayor que en la película sin nano partículas, mientras que para las películas PE/EVA/PE (20/40/20) la difusión fue muy baja casi comparada con el exterior. En cuanto a la transmisión de UV, la adición de nanopartículas, no mostró un efecto consistente en el bloqueo. Se determinó que las características ópticas presentadas por estos grupos de películas no eran consistentes y que las nanopartículas no tuvieron

efectos significativos por lo que se decidió no incluirlas en las evaluaciones con cultivo.

En la mezcla de PE/EVA, la película con 0.1% de nanopartículas mostro una disminución considerable en la transmisión de la PAR, aproximadamente 40% menor que el exterior. En cuanto a la capacidad de las películas para difundir la radiación no se presentaron efectos negativos. La película con una concentración de nanopartículas de 0.1% fue la que mayor cantidad de radiación UV transmitió, por tal motivo se decidió no probar ninguna película de esta formulación con cultivo en campo.

En la película de PE (Patente CIQA) sin aditivo perlescente se pudo observar que sin la adición nanopartículas la transmisión de la PAR fue hasta en un 20% más baja que en las películas con nanopartículas. En cuanto a la capacidad difusora, se observaron variaciones mínimas; sin embargo, el efecto más notorio que se presentó fue la capacidad de las películas para bloquear la radiación UV, en este caso la película con 0.1% de concentración de nanopartículas bloqueo hasta el 60 %. A pesar de las buenas características mostradas en estas películas no se eligió ninguna película de este grupo, porque se observó cierta variación en el bloqueo de la radiación UV.

La primera película elegida fue la de patente CIQA con un aditivo perlescente y con 0.1% de nanopartículas (CIQA PPEa). En este grupo la transmisión de la PAR fue muy parecida en todas las concentraciones de nanopartículas, con valores de transmisión cercano al 80% respecto a la radiación exterior. En cuanto a la capacidad de dispersión, la adición de nanopartículas aumentó esta capacidad en la formulación, la película con 0.1% de concentración mostro una buena dispersión en gran parte del día (200% respecto al exterior). En cuanto a la UV, a medida que se aumentó la concentración de nanopartículas aumento la capacidad de las películas a disminuir la transmisión hasta en un 70% bloqueo que fue lo que presento la películas con 0.1% de nanopartículas.

La formulación CIBA 2, mostró un buen comportamiento en todos los factores ópticos destacando la capacidad difusora de la película con 0.1% de nanopartículas (CIBA 2a), esta película registró valores de difusión por arriba de los $1300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (300%). En cuanto a la transmisión de la UV solo transmitía el 30% de la radiación UV registrada en el exterior en el periodo de máxima insolación, por lo que fue la segunda película seleccionada.

En el grupo de la patente CIBA 1, la adición de nanopartículas no mostró gran relevancia, la transmisión de la PAR fue muy parecida (80% de transmisión) en todas las películas, mientras que en la difusión de la radiación presentó la misma tendencia en todas las concentraciones (160% respecto al exterior), la transmisión de la radiación UV fue menor en la película sin nanopartículas dejando pasar sólo el 20% de la radiación UV. Por lo que se decidió elegir esta película sin nanopartículas como una película de buenas características ópticas para su evaluación en el campo con cultivo (CIBA 10).

De las formulaciones CIQA con agente perlesente y CIBA 2, se eligieron las películas con 0.1% de concentración de nanopartículas, también se decidió elegir las películas que no contenían nanopartículas para comparar el efecto de las películas con y sin adición de nanopartículas en el cultivo (CIQA PE0 y CIBA 20 respectivamente).

4.10 Transmisión del NIR por las películas seleccionadas

Las películas de formulación CIBA 20 y CIBA 2a tuvieron porcentajes de transmisión muy similares lo que indica que para este caso la concentración de nanopartículas no afectó la transmisión dentro de este rango de longitud de onda. Las películas de formulación CIQA también presentaron valores de transmisión muy similares.. Schwart, *et.al.*(2005), encontraron que la capacidad termica de las películas puede estar relacionada con su espesor, y mencionan que las películas antitérmicas deben presentar transmisiones menores del 25% en el NIR. Las

películas evaluadas no pueden considerarse como antitérmicas puesto que dejan pasar más del 80 % del NIR

Cuadro 4.1 Grado de transmisión del NIR.

Película	% de transmisión NIR
CIQA PE0	82.74
CIQA PPEa	80.28
CIBA 10	90.88
CIBA 20	89.92
CIBA 2a	89.54

4.11 Propiedades mecánicas de las películas seleccionadas

4.11.1 Resistencia al impacto

En este parámetro existió cierta variación en la capacidad de las películas antes de fracturarse, así como en el espesor, sin embargo, los valores se encuentran dentro de los parámetros que dicta la norma oficial mexicana NMX-E-114-CNCP-2006 para películas de PE tratadas para una duración mínima de dos años. La norma indica que las películas con calibre 720 pueden tener una variación en el espesor de aproximadamente el 12%, por lo tanto, las cinco películas cumplen satisfactoriamente con la norma. En cuanto a los valores de resistencia al impacto la norma española UNE-EN 13206 versión oficial de la norma Europea EN 13206 indica que las películas elaboradas con PE en sus diferentes presentaciones y el copolímero EVA, al menos deben tener una resistencia mínima al impacto de 350 g, por lo que dos de las películas se encuentran por debajo del límite, sin embargo, como la película CIBA 10 tiene buenas propiedades ópticas se decidió probarla en campo con estas características, mientras que la CIBA 20 sirvió como referencia para las formulaciones de CIBA. Mientras que la norma mexicana para la resistencia al impacto menciona que las películas calibre 720 con duración mínima de dos años deben al menos tener una resistencia al impacto de 500 gramos con caída libre de 1.5 metros, por lo que para la norma mexicana no estaría dentro de los estándares.

Cuadro 4.2 Resistencia al impacto y espesor promedio de las cinco películas seleccionadas.

Película	Wf (g)	Espesor
CIQA PE 0	453	702.27
CIQA PPE a	420	740.45
CIBA 10	294	651.36
CIBA 20	336	660.45
CIBA 2a	402	656.81

4.11.2 Resistencia a la tensión y porcentaje de elongación

Según la norma oficial mexicana NMX-E-114-CNCP-2006 las películas de PE con duración mínima de dos años, deben tener una resistencia mínima a la tensión en el punto de ruptura de 0.74 MPa en dirección máquina y 0.93 MPa en dirección transversal, mientras que la norma española indica una resistencia mayor a los 17 MPa. En el cuadro 4.3 se observan los valores obtenidos para las películas seleccionadas, estos valores nos indicaron que las cinco películas cumplen perfectamente con el mínimo requerido tanto para la norma mexicana como para la española.

Cuadro 4.3 Resistencia a la tensión de películas con diferentes relaciones de resinas plásticas.

Película	Dirección máquina Mpa	Dirección transversal MPa
CIQA PE0	29.11	29.33
CIQA PPEa	28.02	27.17
CIBA 10	29.34	29.34
CIBA 20	27.33	29.38
CIBA 2a	26.81	26.81

En cuanto al porcentaje de elongación, la norma mexicana indica que en dirección maquina se debe tener al menos un 613% de elongación y un 523% en dirección transversal, en el caso de la norma española se requiere un mínimo de 400% en

ambas direcciones, por lo cual con los valores mostrados en el Cuadro 4.4 podemos aseverar que las cinco películas seleccionadas cumplen con estos estándares mínimos de porcentaje de elongación tanto en dirección maquina como en dirección transversal.

Cuadro 4.4 Porcentaje de elongación de películas sintetizadas con diferentes relaciones de resinas plásticas.

Película	Dirección maquina	Dirección transversal
	%	%
CIQA PE0	706	721
CIQA PPEa	683	746
CIBA 10	725	725
CIBA 20	680	777
CIBA 2a	648	678

4.11.3 Envejecimiento acelerado

Según la norma española UNE-EN 13206 el envejecimiento acelerado depende del tiempo requerido para disminuir el valor del porcentaje de elongación hasta el 50% de su valor inicial. En el cuadro 4.5 se presentan los valores del porcentaje de elongación que alcanzaron las muestras hasta las 970 horas, ninguna de las películas presenta una disminución considerable en la perdida de esta propiedad.

Cuadro 4.5 Porcentajes de elongación de diferentes películas expuestas a envejecimiento acelerado

Película	Horas de exposición						
	0	206	308	456	600	700	970
CIQA PE0	706	677	690	660	660	601	617
CIQA PPEa	711	720	711	758	770	676	746
CIBA1	725	665	703	703	632	666	683
CIBA 20	680	683	684	672	695	628	715
CIBA 2a	711	689	698	739	739	683	687

4.12 Evaluación de las películas en el periodo otoño-invierno con cultivo de calabacita (*Cucúrbita Pepo*)

4.12.1 Radiación fotosintética activa el interior de los microtúneles

En la temporada otoño-invierno los valores máximos alcanzados de radiación fotosintética activa se encontraron alrededor de los $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ considerando días totalmente despejados. La película con mayor bloqueo de la PAR es la CIBA10, (Figura 4.25), solo dejó pasar aproximadamente el 50% de la PAR, respecto a la máxima radiación en el exterior, este efecto es indeseable en el periodo de análisis debido a que la cantidad de radiación incidente disminuye considerablemente en este ciclo de cultivo, por lo que busca captar la máxima cantidad de luz visible para que las plantas tengan la suficiente energía para realizar el proceso de fotosíntesis. Las películas restantes mostraron un comportamiento similar, los valores máximos de transmisión se mantuvieron entre los $1300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ y los $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (entre el 90% y 100% de transmisión) sobresaliendo la CIBA 2a que obtuvo una mejor respuesta a la transmisión de la PAR con los valores más altos de transmisión. Iglesias y Muñoz (2007), mencionan que altos valores de radiación PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales nuevos incrementos no se traducen en aumentos de la tasa fotosintética de las plantas, y

que se pueden lograr incrementos del 1% en la tasa fotosintética al incrementar en 1% la trasmisión de la radiación PAR

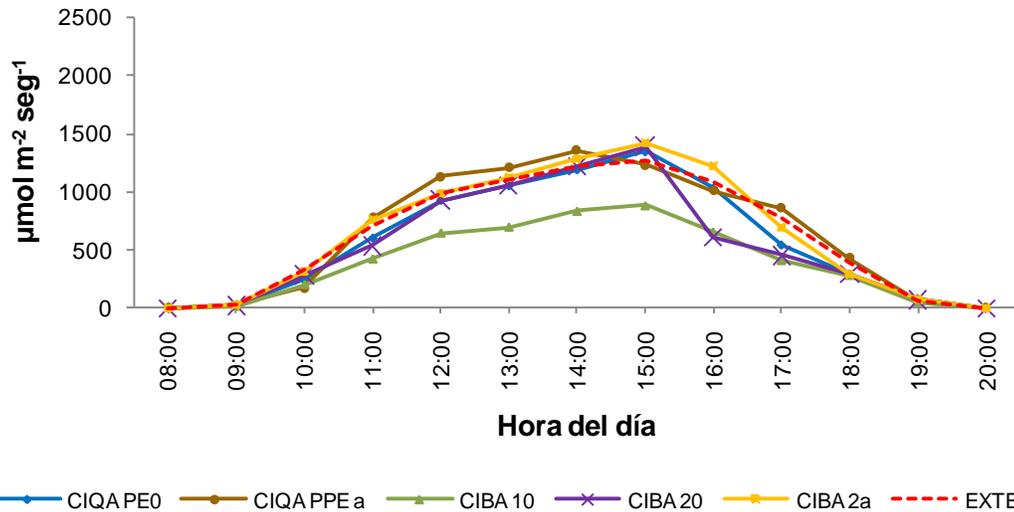


Figura 4.25 Comportamiento de la radiación PAR en el interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones, para el periodo otoño-invierno.

4.12.2 Radiación difusa en el interior de los microtúneles

Todas las formulaciones evaluadas mostraron un efecto difusor de la radiación PAR, la radiación difusa dentro de los túneles se encontró por encima de lo captado en el exterior (Figura 4.26); sin embargo, podemos observar que existen diferencias marcadas también entre películas, las películas CIBA 10 y la CIBA 20, que son películas sin nanopartículas y además son las que presentaron las más bajas en cuanto a difusión, a excepción de la CIQA PE0 que si tiene un buen efecto, en este caso el mejor comportamiento lo mantuvo la película CIQA PEa con valores por encima de los $900 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ mientras que la CIBA 2a también tiene un efecto considerable en la difusión, estas dos últimas películas contenían las concentraciones elevadas de nanopartículas, con esto se pudo comprobar que en este periodo de producción al menos la adición de nanopartículas no tuvo un efecto negativo en la difusión de la radiación y que se pudo mantener incluso un efecto benéfico con las concentración de 0.1% de nanopartículas cerámicas oxido de zinc.

Papasseit (2009) reporta que, al aumentar la difusión de la radiación PAR en invernaderos se puede incrementar tanto la calidad como la cantidad de la producción en la mayoría de los cultivos; sin embargo, no menciona cantidades aproximadas de difusión de la luz PAR.

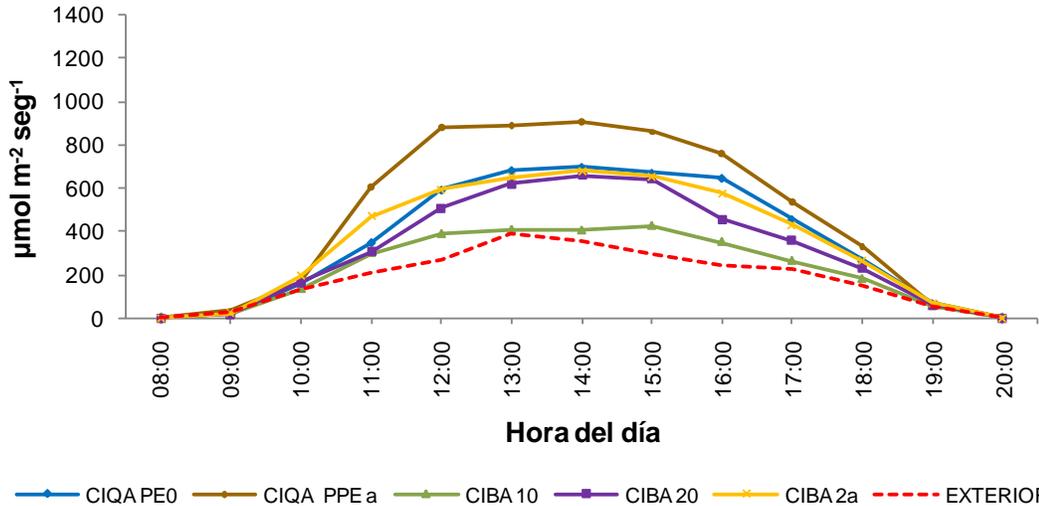


Figura 4.26 Capacidad de diferentes películas para difundir la radiación PAR en el interior de los microtúneles, cubiertos con películas de diferentes formulaciones en el periodo otoño-invierno.

4.12.3 Radiación UV en el Interior de los microtúneles

La radiación UV tiene un efecto importante en la degradación de los plásticos y por su efecto anti-insectos, por lo que es importante que las películas tengan un buen bloqueo a esta radiación, al analizar el comportamiento de esta radiación en el periodo otoño-invierno se puede observar que en general todas las películas presentaron un porcentaje de bloqueo; sin embargo, la película CIQA PPEa es la que mostró una mejor capacidad de bloqueo solo transmitió el 21% ($21 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$), en la hora de mayor intensidad, otras películas como la CIBA 2a y la CIQA PEO bloquean alrededor del 50% de la radiación UV en el periodo con máxima intensidad. En este caso y para este ciclo se demostró que las películas con 0.1% de concentración de nanopartículas de óxido de zinc bloquearon la mayor cantidad de radiación UV. Gazquez, *et. al.* (2002), encontraron al comparar películas anti-insectos con una película convencional que al disminuir la transmisión de la

radiación UV por debajo del 20%, también disminuía la incidencia de insectos vectores; sin embargo esto afecta a los insectos polinizadores por lo que es recomendable aumentar la cantidad de insectos polinizadores al utilizar plásticos anti-insectos. En este periodo encontramos una película que tiene un bloque por debajo del 20% de la radiación UV, por lo que puede considerarse como película anti-insectos.

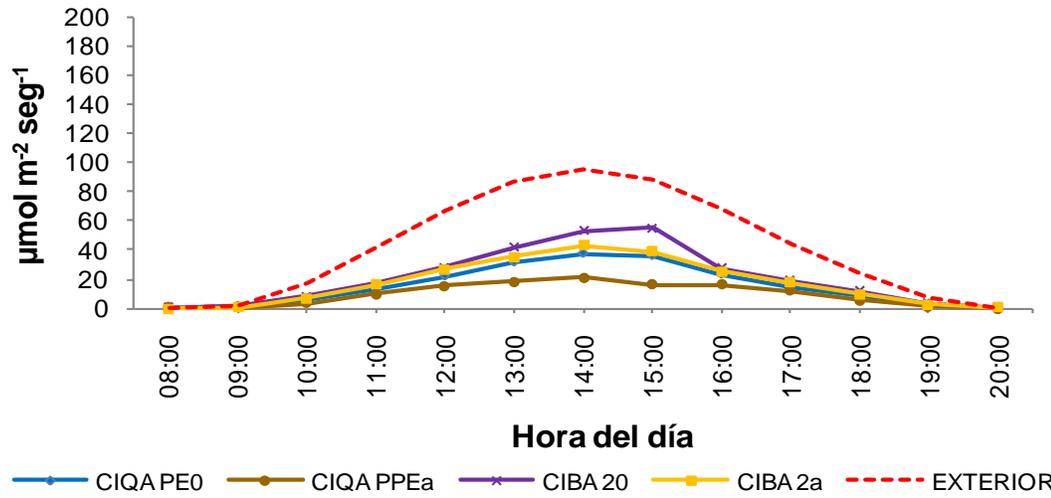


Figura 4.27 Comportamiento de la radiación UV en el interior de los microtúneles cubiertos con películas de diferentes formulaciones, para el periodo otoño-invierno.

4.12.4 Análisis del comportamiento de los parámetros fisiológico las plantas de calabacita (*Cucúrbita pepo*)

Durante el primer mes después de la siembra las plantas cultivadas en las películas CIQA PPEa y CIBA 2a tuvieron una tendencia a generar los mayores diámetros de tallos que las otras películas, aunque el análisis estadístico no mostró diferencia significativa; sin embargo, este efecto se equilibró a partir del día 58 después de la siembra, las películas CIQA PE0 y CIBA 10, mostraron los valores más bajos de diámetros en el último muestreo por debajo de 17 mm mientras que las plantas cultivadas en las otras películas mostraron diámetros de tallo mayores a 17 mm (Figura 4.28).

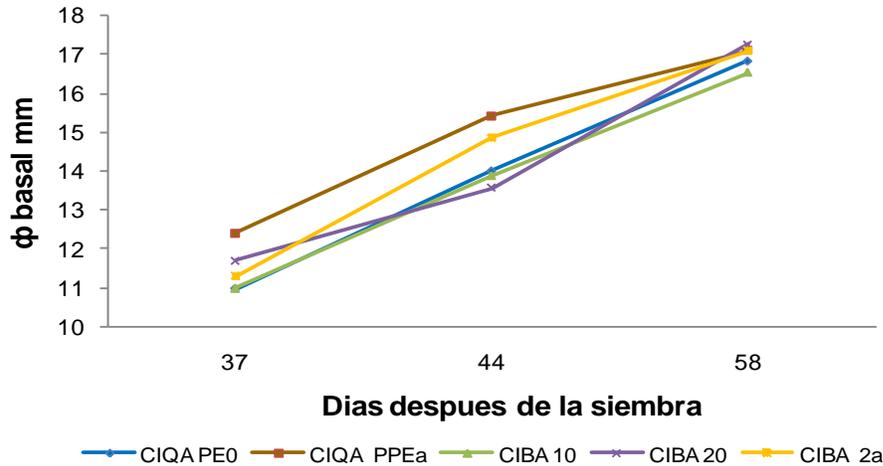


Figura 4.28 Diámetro basal de tallos del cultivo de calabacita producidas bajo diferentes películas.

Las plantas cultivadas en las películas CIQA PPEa y CIBA 2a a partir del día 44 después de la siembra mostraron los mejores pesos del tallo (Figura 4.29); sin embargo, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la película CIBA 2a y la CIQA PE0. Las plantas que crecieron bajo las películas CIQA PPEa y CIBA 2a también fueron las que presentaron mejores diámetros de tallos si relacionamos ambos parámetros podemos decir que en estas plantas los tallos fueron más vigorosos siendo esto una base para tener plantas de mejor porte. Cabe resaltar que la película CIBA 2a alcanzó para el último muestreo 96 gramos, mientras que la CIQA PPEa obtuvo para esta fecha solo 80 g sólo un poco arriba de las películas CIQA PE0 y CIBA 10 que sólo alcanzaron 68 g y 73 g respectivamente.

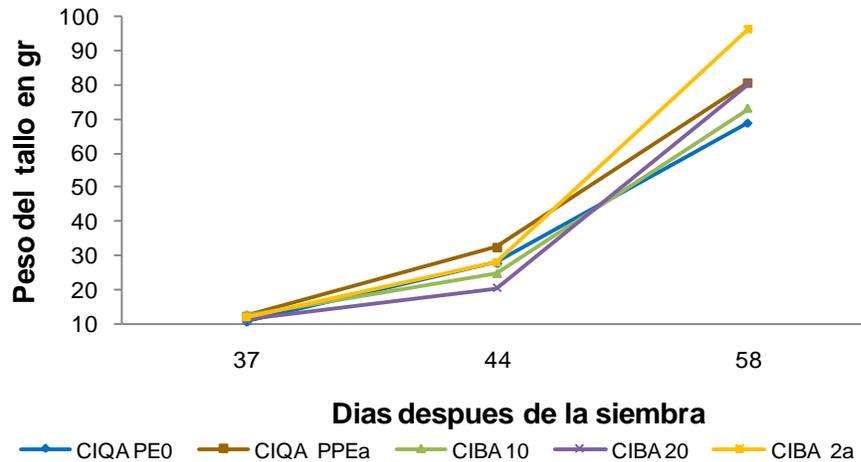


Figura 4.29 Peso de tallos en el cultivo de calabacita producidas bajo diferentes películas.

El área foliar mantuvo la misma tendencia en la mayoría de las películas, se puede destacar que las plantas cultivadas bajo la protección de las películas CIQA PPEa y CIBA 2a tuvieron mayor área foliar en los últimos muestreos (Figura 4.30); sin embargo, no se encontró diferencia estadísticamente significativa. Los valores de área foliar a los 58 días concuerdan con lo reportado por Castro *et al.* (2005), que reporta 8000 cm² de área foliar a los 69 dds en un híbrido de calabacita llamado “Talata” cultivado en el periodo primavera verano en condiciones óptimas de riego. La película CIBA 10 fue la que tuvo menor transmisión a la radiación PAR, lo que se reflejó negativamente en la cantidad de área foliar y esto puede ser en detrimento del rendimiento, esta disminución del área foliar pudo ser producida por una disminución en la radiación lo que concuerda con, López *et al.*, (2009).

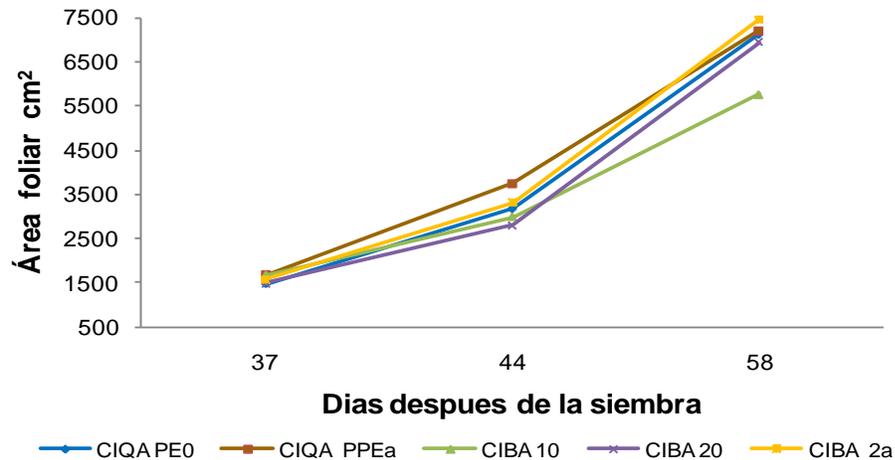


Figura 4.30 Incremento del área foliar en el cultivo de calabacita según la cubierta bajo la cual fue producida.

El peso del follaje de las plantas cultivadas en la película CIBA 2a en el último muestreo se mostró por arriba del peso del follaje de las plantas cultivadas bajo las otras cubiertas en evaluación, esto nos indica que las hojas posiblemente fueron más gruesas, ya que la cantidad de área foliar fue similar a las plantas cultivadas en las películas CIQA PEa y CIQA PE0, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas, las plantas crecidas bajo la cubierta CIQA PEa hasta los 44 dds mostraron el mejor comportamiento, siendo rebasadas solo por las plantas de la película CIBA2a para el día 58 dds la película CIBA 10 fue la que mostró nuevamente los resultados más bajos (Figura 4.31).

Anteriormente se mencionó que la película CIBA10 mostró muy baja transmisión de radiación PAR, también presentó una baja difusión, este efecto se pudo haber reflejado en el crecimiento de las plantas, mientras que dentro de las películas CIBA 2a y la CIQA PPEa que tuvieron buenos efectos de transmisión de PAR y buena difusión, las plantas tienen hojas más gruesas y tallos más vigorosos, esto pudo ser el resultado principalmente a una mejor captación de radiación y esta se distribuye más uniformemente en el dosel generando una mejor fotosíntesis y generación de fotosintatos, lo cual concuerda con lo reportado por Ramos y Zendejas, (2006).

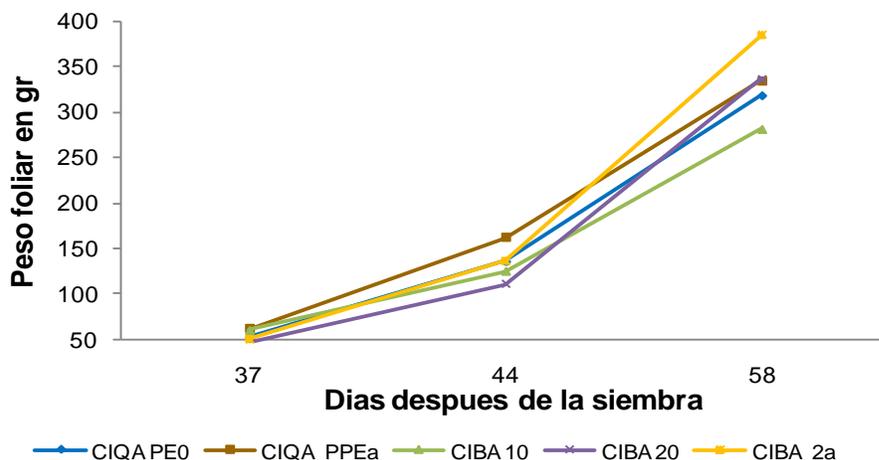


Figura 4.31 Peso foliar del cultivo de calabacita producido bajo diferentes películas.

4.12.5 Análisis estadístico de los índices de crecimiento en plantas de calabacita (*Cucúrbita pepo*)

El análisis estadístico de los muestreos realizados en el cultivo de calabacita, durante el primer periodo solo mostró diferencia significativa en la RAF entre las películas CIBA 2a y CIQA PPEa lo que indica que las plantas cultivadas en la cubierta CIBA 2a tuvo mayor cantidad de follaje que las plantas crecidas bajo la cubierta CIQA PPEa que fueron las que tuvieron menor área foliar; sin embargo, las plantas de la cubierta CIQA PEa, mostraron una mayor AFE lo que muestra que las hojas de las plantas en este tratamiento eran más grandes, pero más delgadas (Cuadro 4.6).

Las TCR y TAN fueron en el primer muestreo mayores en la formulación CIBA 2a, seguidas por CIQA PPEa y CIQA PE0, pero estas tasas en las películas CIBA 10 sin nanopartículas fueron marcadamente más bajas que todas las demás, por lo que podemos decir que las nanopartículas le proporcionaron propiedades que influyeron positivamente en el desarrollo de las plantas. Las películas CIBA 2a y CIQA PPEa que muestran las mejores tasas de TCR y TAN mantuvieron una transmisión de la PAR del 100% mientras que la CIQA PPEa fue la que presentó

mejor capacidad difusora por lo tanto mejores condiciones de iluminación en su interior, esto concuerda con lo mencionado por Samaniego *et al.*, 2002, que encontraron las mejores TCR y AFE en plantas de tomate y pimiento en condiciones de alta incidencia de radiación total y PAR.

Cuadro 4.6 Comparación de medias mediante DMS con un nivel de significancia de 0.05, para la tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), razón de área foliar (RAF), razón de peso foliar (RPF) y área foliar específica (AFE) en el cultivo de calabacita.

TRATAMIENTO	TCR	TAN	RAF	RPF	AFE
34-44 dds					
CIQA PE 0	0.1070 a	0.1671 a	143.414 ab	0.7416 a	193.306 b
CIQA PPEa	0.1137 a	0.1826 a	139.448 b	0.7303 a	204.586 a
CIBA 10	0.0757 a	0.1062 a	142.811 ab	0.7570 a	191.949 b
CIBA 20	0.0723 a	0.1064 a	143.880 ab	0.7502 a	191.781 b
CIBA 2a	0.1188 a	0.2425 a	149.399 a	0.7301 a	188.664 b
44-58 dds					
CIQA PE 0	0.0892 a	0.2226 a	131.212 a	0.6654 a	199.74 a
CIQA PPEa	0.0821 a	0.2226 a	126.855 a	0.6565 a	193.72 a
CIBA 10	0.0680 a	0.1648 a	125.061 a	0.6555 a	190.20 a
CIBA 20	0.0639 a	0.1343 a	123.162 a	0.6542 a	188.00 a
CIBA 2a	0.0607 a	0.1192 a	116.661 a	0.6528 a	178.72 a

NOTA: Letras diferentes determina diferencia significativa entre tratamientos, TCR en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, TAN en $\text{g cm}^{-2} \text{día}^{-1}$, RAF en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, RPF es adimensional y AFE en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

En el segundo período de análisis de crecimiento aunque estadísticamente no hay diferencias entre los tratamientos, la TAN y la TCR de las dos películas CIQA fueron superiores a las de los demás tratamientos y en la película CIBA 2a que en el período anterior presentó la mayor en RAF en este segundo muestreo fue la que tuvo el valor más bajo, pero se siguió manteniendo con las hojas más pequeñas y gruesas, en la RPF no se vieron afectadas las plantas debido al mayor grosor de las hojas, presentando todos los tratamientos valores similares de RPF.

4.12.6 Temperatura y humedad relativa al interior de los microtúneles durante el ciclo otoño-invierno.

La temperatura fue tomada solo en cuatro de los tratamientos debido al número de sensores que se tenían, este parámetro mostró tendencias muy parecidas, la película que más elevó la temperatura fue la CIQA PPEa siendo también de la que mostró la mayor cantidad de la transmisión de la PAR, mientras que la que presentó los valores más bajos de temperatura fue la CIBA 10 (Figura 4.32) que coincide con la menor transmisión de la PAR, cabe mencionar que como era periodo de invierno las temperaturas externas eran relativamente bajas por lo que el efecto de abrigo en los microtúneles se manejaba con las cortinas, si los días eran soleados se subía en su totalidad la cortina para evitar excesos de temperatura y si los días eran fríos se trataba de mantener el mayor porcentaje de la cortina abajo para mantener un efecto de protección. Según Castilla (2007), la mayoría de los cultivos tienen temperaturas óptimas durante el día entre los 22 y 30°C, las películas que se evaluaron en este periodo presentaron temperaturas por arriba de los 35°C, cabe mencionar que se tomo un día totalmente soleado.

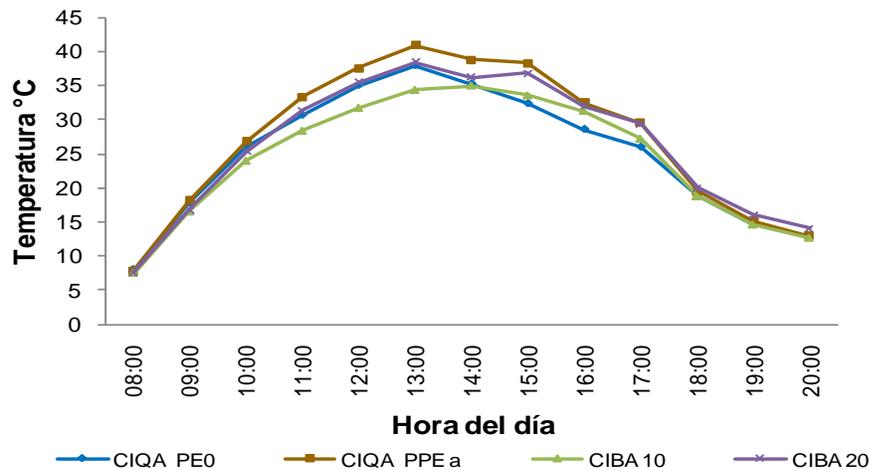


Figura 4.32 Comportamiento de la temperatura dentro de los microtúneles cubiertos con diferentes películas, durante el periodo otoño-invierno.

La humedad relativa de las cubiertas sin nanopartículas mostraron una tendencia normal aumentando durante la noche y disminuyendo durante el día, en este caso la película que mostro las mejores condiciones de humedad relativa durante el día fue la CIQA PE0 y en la CIBA 10 disminuyó considerablemente este parámetro, estas condiciones pueden ser relativas debido a que para evitar la condensación de la cara interior de las películas se contaba con un sistema de ventilación en la parte superior de las caras frontal y posterior de los microtúneles donde se generaba intercambio de aire con el exterior.

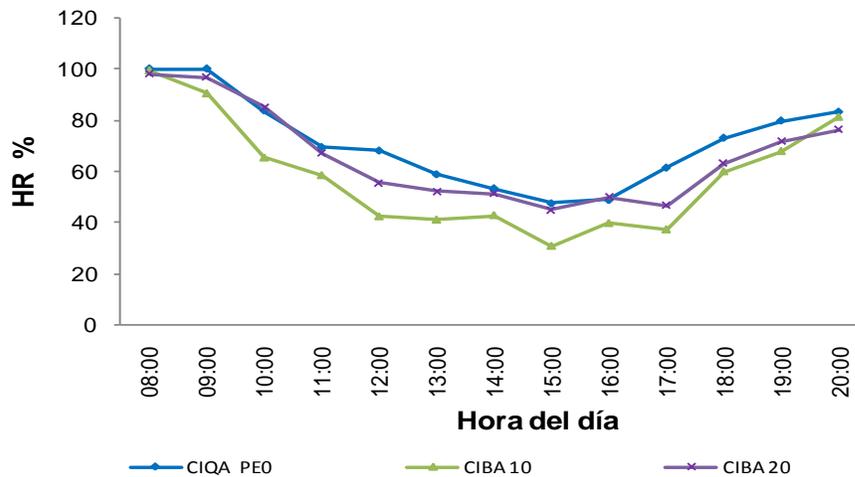


Figura 4.33 Comportamiento la humedad relativa dentro de los microtúneles cubiertos con diferentes películas en el periodo otoño-invierno.

4.12.7 Fotosíntesis y resistencia estomática en el cultivo de calabacita (*Cucúrbita pepo*)

Las plantas que se encontraban en la película CIBA 20 mostraron en ese día de muestreo la tasa más elevada de fotosíntesis (Figura 4.34 , las plantas cultivadas bajo otras películas mostraron valores de fotosíntesis más bajos sin embargo, fueron homogéneas presentando sus valores entre los $12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ y $14 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$.

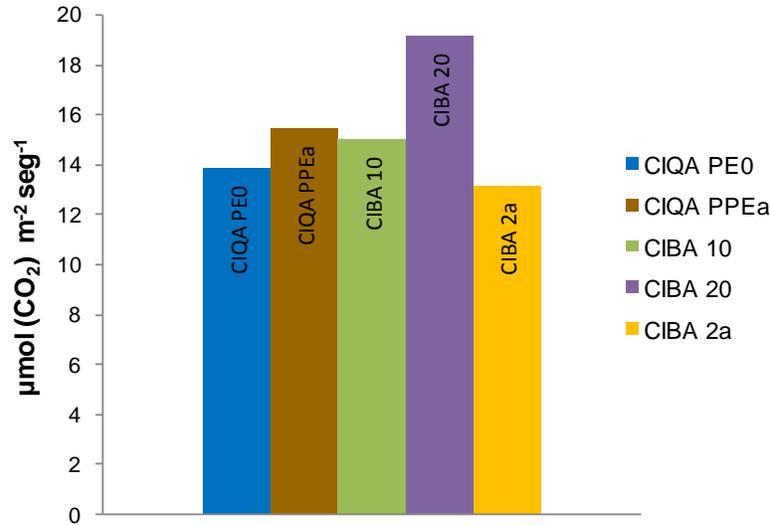


Figura 4.34 Fotosíntesis realizada por las plantas de calabacita, cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas.

Las plantas cultivadas en la película CIBA 20 mostraron los índices de fotosíntesis más altos y la menor resistencia estomática; esto probablemente se debe a que estas plantas tenían los estomas más abiertos y facilitaron el intercambio gaseoso, las plantas de las cubiertas CIQA 2a y CIBA 10 mostraron mayor resistencia estomática, mientras que las plantas cultivadas en las películas CIBA 2a y CIQA PE0 también mostraron baja resistencia estomática a pesar de tener bajos niveles de fotosíntesis. Cabe mencionar que no se encontraron reportes de parámetros como la fotosíntesis y la resistencia estomática en calabacita.

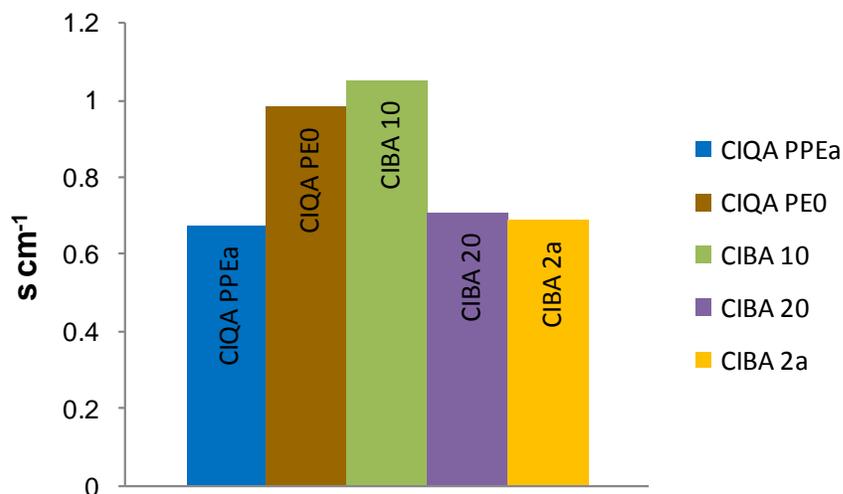


Figura 4.35 Resistencia estomática en plantas de calabacita cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas.

4.13 Evaluación de las películas seleccionadas en el periodo primavera- verano con el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum L.*)

4.13.1 Transmisión de la radiación total

Todas las películas en esta temporada disminuyeron la transmisión de la radiación total respecto a la radiación del exterior; sin embargo, la CIBA 2a en el periodo de máxima radiación entre las 13:00 y las 15:00 horas mostró una mayor transmisión que las demás películas (Figura 4.36).

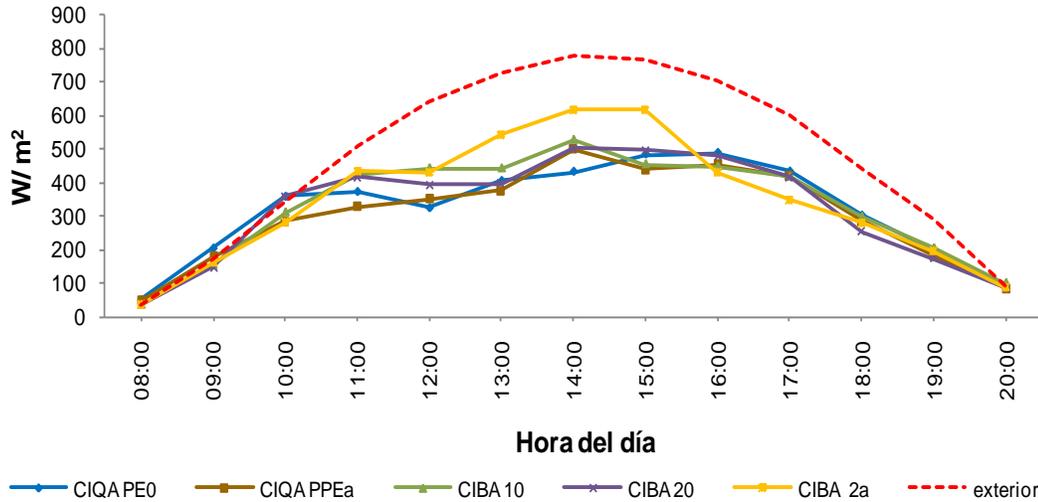


Figura 4.36 Transmisión de la radiación total en el periodo primavera-verano en diferentes películas para invernadero.

4.13.2 Transmisión de la PAR en el periodo primavera-verano

Durante la temporada primavera-verano la incidencia de la radiación fue mayor que en el periodo otoño-invierno, se pudieron observar algunos cambios en la transmisión de la radiación PAR en algunas películas al comparar las temporadas, como en el caso de la película CIBA10 que durante el periodo invernal mostró una baja transmisión de la PAR; sin embargo para la temporada primavera-verano la transmisión fue elevada, cabe mencionar que esta formulación no contenía nanopartículas el efecto es directamente proporcionado por el acomodo de sus capas y los materiales empleados en su fabricación. En las demás películas el comportamiento mantuvo una tendencia parecida, los valores de transmisión de la PAR fueron muy cercanos a los $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (correspondiente al 70%) en las horas de máxima insolación (Figura 4.37), al comparar las temporadas se pudo observar que a pesar de ser temporadas diferentes y de tener diferente cantidad de radiación incidente en el exterior los valores al interior de los microtúneles fueron muy similares, manteniéndose la película CIBA 2a ligeramente por arriba de las demás. Una diferencia que se observa en invierno de radiación PAR es que en primavera-verano los valores de radiación en todas las películas están por debajo de la radiación exterior y en el período invernal la mayoría de las películas

tenían radiaciones similares a las del exterior, esto puede deberse a que en invierno hay mas radiación difusa lo que hace que no haya tanta diferencia entre la radiación interior y exterior. Los resultados de radiación comparando la película CIBA 10 en invierno y en primavera verano son totalmente diferentes, mientras que en invierno tenía valores de alrededor de 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ en primavera-verano tiene valores de casi 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$, lo que es totalmente atípico, por lo que se tendrá que verificar estos resultados en una nueva evaluación para poder explicar a que se debieron estos resultados tan contrastantes. En las demás películas evaluadas los valores de PAR en invierno y los de primavera verano son muy similares.

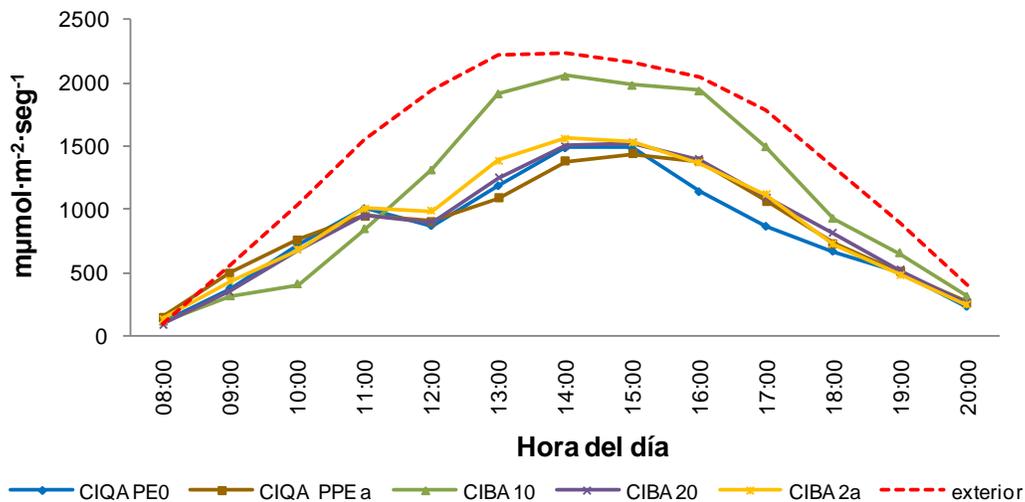


Figura 4.37 Transmisión de la radiación PAR en el periodo primavera-verano en diferentes películas para invernadero.

4.13.3 Capacidad de las películas para difundir la radiación PAR

La radiación difusa en el interior de los microtúneles para el periodo primavera-verano fue muy parecida al periodo otoño-invierno en las películas evaluadas, manteniéndose la película CIQA PPEa como la película de mejor difusión, los valores máximos variaron entre los 600 y 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (entre 130% y 180%) en los periodos con máxima radiación. La película CIBA 10 fue la que presento menor difusión (Figura 4.38), cabe mencionar también que las películas en las

horas en donde las radiación disminuye tienden a asemejarse en los valores que se registraron en su interior y en las horas de máxima radiación se notó de forma más clara la variación entre ellas.

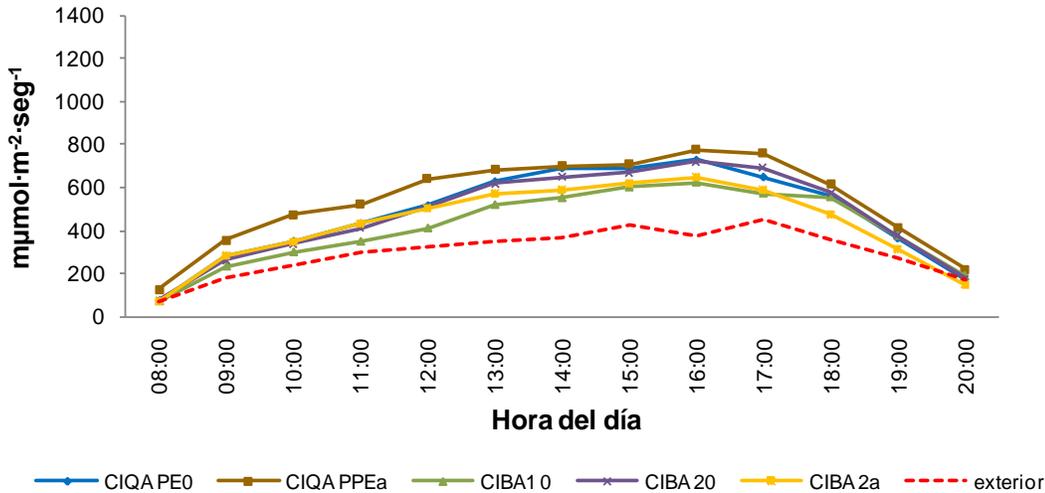


Figura 4.38 Capacidad de las películas para difundir la radiación PAR en el periodo primavera-verano.

4.13.4 Transmisión de la radiación UV

Todas las películas disminuyeron la transmisión de radiación UV al interior de los microtúneles; sin embargo, la variación entre las películas no va más allá de los $10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$ (Figura 4.39).

Al comparar los periodos de cultivo, la radiación UV registrada en el exterior en primavera-verano triplicó a la registrada en el exterior, en el periodo otoño-invierno. A pesar del aumento de la radiación UV en el periodo primavera-verano las películas mantuvieron un grado de bloqueo constante por lo que no existió un aumento considerable en la radiación UV en el interior.

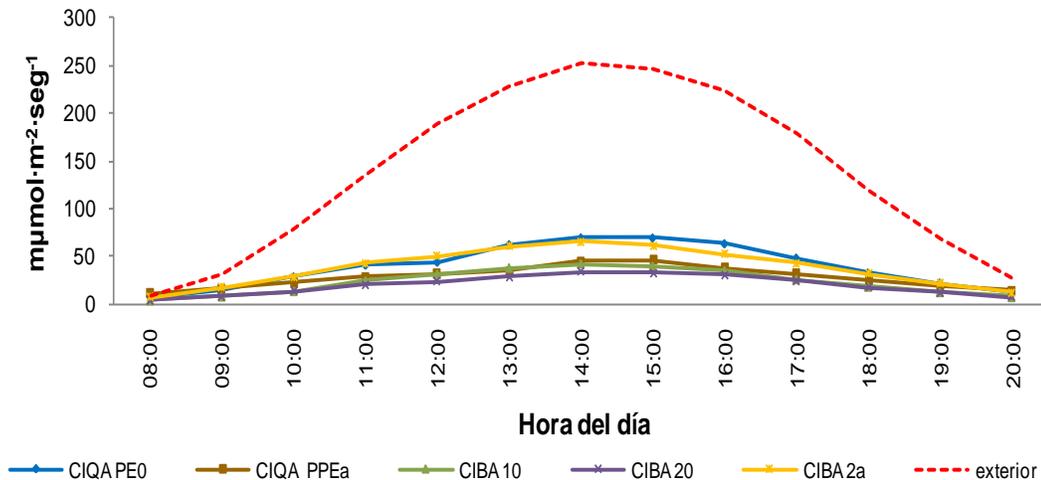


Figura 4.39 Transmisión de la radiación ultra violeta en el periodo primavera-verano en microtúneles cubiertos por diferentes películas.

4.13.5 Análisis del comportamiento de los parámetros fisiológicos

En la altura de las plantas, durante los primeros seis muestreos no se encontraron diferencias significativas entre las plantas cultivadas bajo las películas; sin embargo, todas mostraron diferencia respecto al testigo. Para el séptimo muestreo se presentaron las diferencias más marcadas, la cubierta CIQA PE0 y la CIQA PPEa fueron las que mejor altura de planta mostraron (Figura 4.40), cabe mencionar que existió diferencia estadísticamente significativa entre estas películas. Con el uso de la película CIBA 2a se presentó mejor respuesta al crecimiento que las películas CIBA 20 y CIBA 10. La altura de las plantas para el día 61 ddt en todas las películas fueron superiores a lo que reportan Zúñiga *et al.*, 2005, a los 64 ddt en un cultivo de pimiento híbrido tipo california cultivado bajo condiciones de invernadero. Mientras que Valle (2010) reporta alturas de plantas de pimiento cultivar Lesley en condiciones de invernadero de 51 cm a los 63 ddt prácticamente 10 cm por debajo de la altura de las plantas cultivadas en las diferentes películas evaluadas en esta investigación a los 61 días ddt.

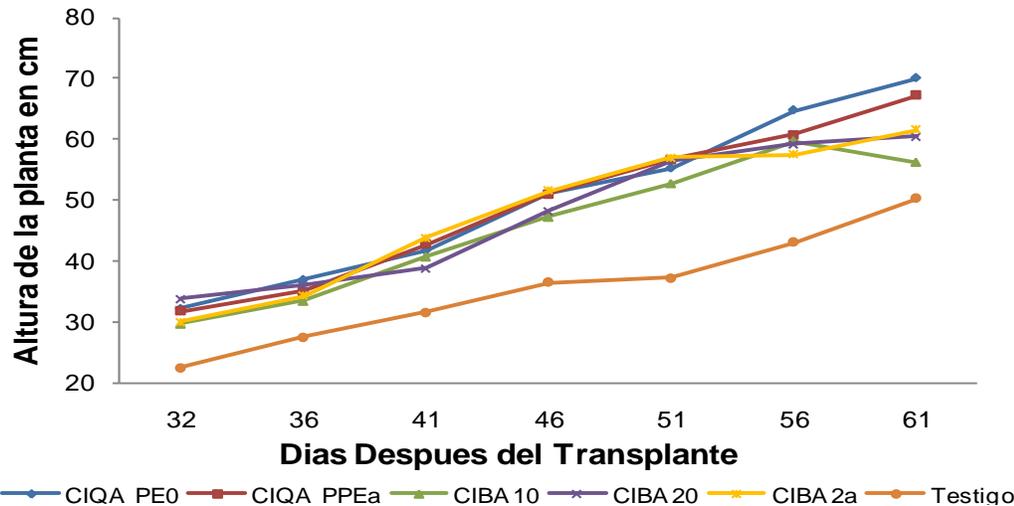


Figura 4.40 Altura de las plantas de pimienta crecidas bajo diferentes películas para invernadero en el período primavera-verano.

En cuanto el diámetro de los tallos durante el primer muestreo la película CIBA 10 fue la de menor respuesta junto con el testigo y mostraron diferencia significativa respecto a las demás películas (Figura 4.41); durante el segundo muestreo (36 ddt) solo se presentó diferencia significativa de las películas respecto al testigo, mientras que para el tercer muestreo (41 ddt) el diámetro de las plantas crecidas en la película CIBA 2a mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto a las plantas de las demás películas y CIQA PPEa presentó diferencias significativas respecto a las películas CIQA PE0 y CIBA 20, para el cuarto y quinto muestreo (46 ddt y 51 ddt) solo existió diferencia significativa entre las plantas cultivadas bajo películas CIBA 20 y el testigo; durante el sexto muestreo (56 ddt) la película CIQA PE0 mostró diferencias estadísticas respecto a la película CIBA 2a, y para el séptimo muestreo (61 ddt) las películas CIQA PPEa y la CIBA 2a fueron las que mejor comportamiento mostraron; sin embargo solo mostraron diferencia significativa respecto a la película CIBA 10 y el testigo. Los diámetros de tallo en este trabajo a los 61 ddt son superiores a los reportados por Valle (2010) a los 63 ddt.

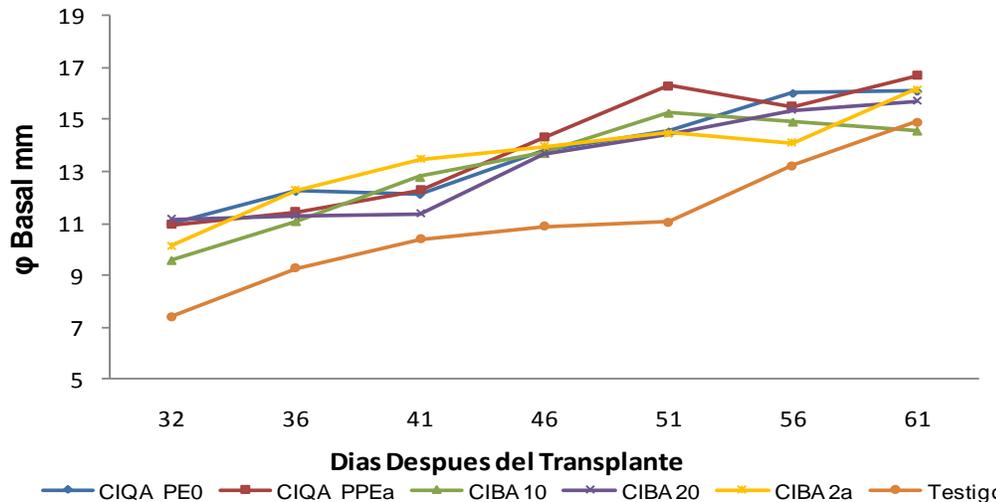


Figura 4.41 Diámetro basal de tallos en plantas de pimienta cultivadas en microtúneles cubiertos por diferentes películas en el periodo primavera-verano.

En cuanto al área foliar de las plantas durante los primeros cuatro muestreos no se encontraron diferencias significativas entre las películas, las diferencias estadísticas solo se presentaron entre las películas y las plantas testigo (Figura 4.42). Para el quinto muestreo (51 ddt) la película CIQA PE0 junto con el testigo fueron los que menores valores de área folia mostraron, esto produjo una diferencia estadística respecto a las demás películas. En el sexto muestreo las películas CIQA PE0, CIBA 20 y CIQA PPEa mostraron diferencia significativa respecto a las películas CIBA 10 y CIBA 2a. Para el último muestreo (61 ddt) el área foliar de las plantas cultivadas en la película CIQA PPEa fueron las que mejor repuesta presentaron mostrando diferencia significativa respecto a las películas CIQA PE0, CIBA 10, CIBA 20 y CIBA 2a.

Los valores de área foliar se encuentran por encima de los reportados por Huerta *et al.*, 2005, reporta valores de área foliar de 500 cm² a los 40 días después del trasplante y de 1900 cm² a los 70 ddt en un cultivo de pimienta híbrido llamado "Airane" de color naranja, bajo condiciones de invernadero, mientras que los valores obtenidos en este estudio fueron superiores a los 900 cm² en todas las formulaciones para los 44 DDT y superiores a los 2500 cm² para el día 61 ddt,

Mientras que Ibarra, *et. al.*, 2001, encontraron que los promedios de área foliar máximos a los 40 ddt de 790 cm² en pimiento con acolchado y microtúnel removido a los 20 ddt.

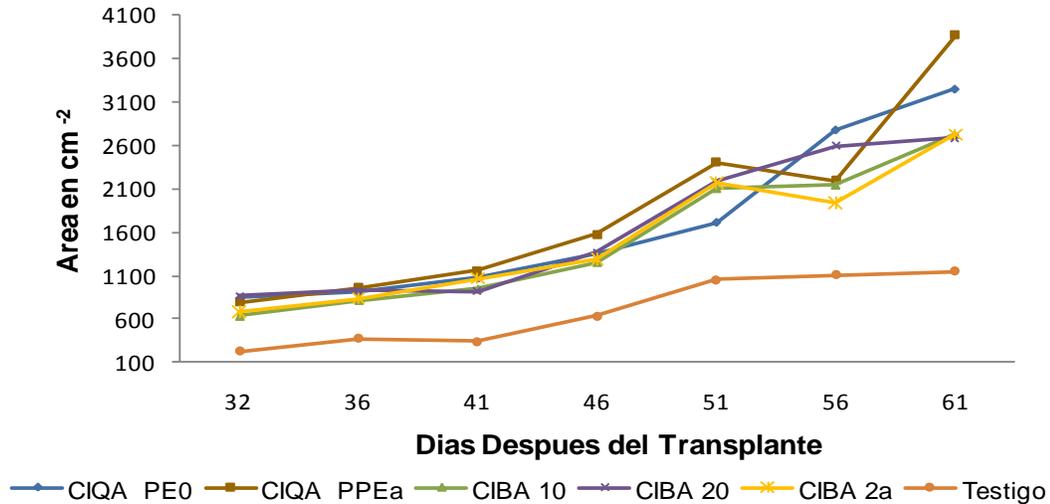


Figura 4.42 Evolución del área foliar del cultivo de pimiento durante el periodo primavera-verano bajo condiciones de microtúneles con diferentes películas.

4.13.6 Análisis estadístico de los índices de crecimiento de plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.)

El análisis estadístico de los índices de crecimiento (Cuadro 4.7), en el primer periodo se muestra diferencia significativa en la tasa de crecimiento relativo (TCR); la diferencia se presentó entre las plantas testigo y los demás tratamientos esto indica que las plantas crecidas en el exterior produjeron más material vegetal que las crecidas bajo cualquiera de las cubiertas. En la tasa de asimilación neta (TAN) la diferencia significativa se encontró de igual manera entre las plantas testigo y las cultivadas dentro de las películas. En la razón de área foliar (RAF) el testigo fue el más bajo, mientras que en la razón de peso foliar (RPF) no se encontró diferencia alguna, para el área foliar específica (AFE) demostraron diferencia significativa entre el testigo que fue el valor más bajo y las películas, también la CIBA 2a mostro valores bajos por lo que se encontró diferencia significativa respecto a la CIBA 10 que fue la que obtuvo el mejor resultado, estos resultados

nos indican que anatómicamente las plantas se ven influenciadas por la cantidad y calidad de radiación que están recibiendo, las plantas del exterior que reciben mucho mas radiación directa y menos difusa son plantas con hojas más pequeñas, más gruesas y tienen menor área foliar en comparacion el peso de la planta, y aunque sus tasas de crecimiento son por mucho más altas que las de las plantas bajo las cubiertas, esto no se refleja en el desarrollo de la planta probablemente porque están sometidas a mayor estrés por las altas radiaciones directas y UV que están recibiendo comparadas con las que se reciben bajo las cubiertas. El bloqueo de cierta cantidad de radiación recibida por las películas modula más las condiciones de crecimiento de las plantas las cuales están más confortables y gastan menos energía de mantenimiento que se usa en el desarrollo y rendimiento.

En el segundo análisis de crecimiento que se realizó entre los días 36 ddt y 41 ddt se encontró diferencia significativa entre las películas CIQA PPEa, CIBA 1 0 y CIBA 2a con el testigo en los índices TCR y TAN esto indicó que las plantas cultivadas en las películas mencionadas mostraron un mayor incremento de su producción de hojas por lo que existió una mejor eficiencia fotosintética, mientras que las plantas testigo detuvieron su crecimiento considerablemente. Para la RAF se encontró una alta diferencia significativa entre la película CIQA PPEa y el testigo, también se encontró diferencia significativa entre la CIQA PPEa y la CIBA 2a las plantas del resto de las películas no mostraron diferencia alguna. La relación de peso foliar mostro diferencia entre el testigo y las formulaciones CIQA sin nanopartículas y con concentración 0.1%, también con la película CIBA 2a.

Cuadro 4.7 Comparación de medias mediante DMS con un nivel de significancia de 0.05, para los índices de crecimiento en pimiento.

TRATAMIENTO	TCR	TAN	RAF	RPF	AFE
32-36 ddt					
CIQA PE 0	0.0660 b	0.00027 b	86.611 a	0.5615 a	154.34 ab
CIQA PPEa	0.0385 b	0.00012 b	87.040 a	0.5827 a	149.23 ab
CIBA 10	0.0661 b	0.00022 b	91.900 a	0.5599 a	164.96 a
CIBA 20	0.0265 b	0.00005 b	80.631 ab	0.5697 a	141.60 abc
CIBA 2 ^a	0.0788 b	0.00035 b	79.298 ab	0.5787 a	137.07 bc
TESTIGO	0.1589 a	0.00102 a	71.683 b	0.5848 a	122.33 c
36-41 ddt					
CIQA PE 0	0.0411 ab	0.00057 ab	77.261 ab	0.8579 a	90.031 a
CIQA PPEa	0.0769 a	0.00097 a	81.609 a	0.9341 a	87.529 a
CIBA 10	0.0836 a	0.00110 a	73.724 ab	0.8276 ab	94.613 a
CIBA 20	0.0253 ab	0.00035 ab	78.042 ab	0.8606 ab	86.410 a
CIBA 2 ^a	0.0785 a	0.00115 a	70.007 bc	0.8770 a	80.561 a
TESTIGO	0.0046 b	0.00007 b	63.487 c	0.7185 b	89.620 a
41-46 ddt					
CIQA PE 0	0.0833 ab	0.00115 ab	69.327 a	0.478 ab	144.85 a
CIQA PPEa	0.0894 ab	0.00135 ab	69.466 a	0.500 a	138.88 ab
CIBA 10	0.0522 ab	0.00080 b	68.013 a	0.478 ab	141.96 ab
CIBA 20	0.0962 b	0.00152 ab	63.201 ab	0.481 ab	131.42 bc
CIBA 2 ^a	0.0422 ab	0.00065 b	63.938 ab	0.506 a	126.27 c
TESTIGO	0.1226 a	0.00200 a	60.237 b	0.447 b	134.78 ab
46-51 ddt					
CIQA PE 0	0.1846 a	0.00172 a	116.574 b	0.2530 b	459.94 a
CIQA PPEa	0.2195 a	0.00197 a	123.613 a	0.2632 b	470.13 a
CIBA 10	0.2235 a	0.00207 a	118.229 ab	0.2599 b	457.34 a
CIBA 20	0.2209 a	0.00207 a	114.045 ab	0.2583 b	442.97 a
CIBA 2 ^a	0.2183 a	0.00207 a	112.646 b	0.2606 b	432.33 a
TESTIGO	0.2278 a	0.00205 a	123.139 ab	0.2873 a	428.76 a
51-56 ddt					
CIQA PE 0	0.2110 a	0.00182 a	124.572 a	0.2583 a	482.05 a
CIQA PPEa	0.1669 a	0.00162 a	123.745 a	0.2562 a	484.76 a
CIBA 10	0.1638 a	0.00137 a	132.580 a	0.2507 a	528.21 a
CIBA 20	0.1849 a	0.00162 a	127.091 a	0.2672 a	474.92 a
CIBA 2 ^a	0.1566 a	0.00147 a	119.839 a	0.2581 a	465.77 a
TESTIGO	0.2116 a	0.00187 a	135.822 a	0.2635 a	512.18 a
56-61 ddt					
CIQA PE 0	0.1993 a	0.00172 a	132.829 a	0.2444 a	546.07 a
CIQA PPEa	0.2071 a	0.00195 a	113.352 ab	0.2436 a	469.11 a
CIBA 10	0.1916 a	0.00172 a	121.955 ab	0.2577 a	473.14 a
CIBA 20	0.1803 a	0.00165 a	121.370 ab	0.2443 a	509.38 a
CIBA 2 ^a	0.2024 a	0.00202 a	109.825 b	0.2449 a	453.19 a
TESTIGO	0.1670 a	0.00230 a	105.546 b	0.2422 a	441.04 a

NOTA: Letras diferentes determina diferencia significativa entre tratamientos, TCR en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, TAN en $\text{g cm}^{-2} \text{día}^{-1}$, RAF en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, RPF es a dimensional y AFE en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

Para el tercer periodo de análisis realizado entre el 41 ddt y 46 ddt existió diferencia estadísticamente significativa entre la película CIBA 20 y el testigo en la RPF esto indico que las plantas de la película CIBA 20 produjo una mayor cantidad de materia seca del vástago y una mayor eficiencia de las plantas en el proceso de fotosíntesis y producción de materia. En la TAN, RAF y RPF las plantas testigo mostraron los valores más bajos, mientras que para la AFE la que difirió de todas las demás con la media más baja fue la CIBA 2a.

Durante el cuarto periodo de muestreo, se encontró diferencia significativa en la RAF entre las cubiertas CIQA PEa y CIBA 2a, también existió diferencia en el RPE, las plantas testigo fueron las que mostraron las medias más altas en este parámetro.

En el quinto muestreo no se encontró ninguna diferencia significativa para ninguno de los índices de crecimiento. Mientras que en el último muestreo existió diferencia significativa en la RAF para la película CIQA PE0 en la cual se presentaron medias más altas y significativamente diferentes respecto a la CIBA 2a y al testigo, los valores de las medias de la TCR del análisis estadístico son superiores de lo que reporta Ibarra *et al.*, 2001 a los 40 ddt en un cultivo de pimiento con acolchado y microtúnel, este mismo autor reporta valores similares a los obtenidos en este trabajo en la TAN, en cuanto a la RAF Ibarra a los 40 ddt muestra valores más bajos que los reportados en este trabajo.

4.13.7 Fotosíntesis y resistencia estomática en pimiento (*Capsicum annuum* L.)

En cuanto a la fotosíntesis, las plantas del tratamiento testigo fotosintetizó regularmente por debajo de las platas cultivadas dentro de los microtúneles, las plantas que mostraron una fotosíntesis más regular durante el periodo de muestreo fue la CIBA 10, las plantas que fueron cultivadas bajo la protección de las películas CIQA PPEa y la CIBA 2a a pesar de la variación que mostraron en

los días 36 ddt y 40 ddt, mostraron una recuperación considerable de su fotosíntesis en el último muestreo (Figura 4.43). La fotosíntesis más elevada fue la del tratamiento CIBA 10 coincide con la mayor radiación fotosintética que se recibe dentro de el microtúnel y la menor fotosíntesis se dio en el testigo que es donde se reciben radiaciones de alrededor de 2000 micromoles muy probablemente esto indicando un estrés en la planta por alta radiación y temperatura, aunada a la baja humedad relativa que causa una mayor resistencia estomática limitando así la fotosíntesis.

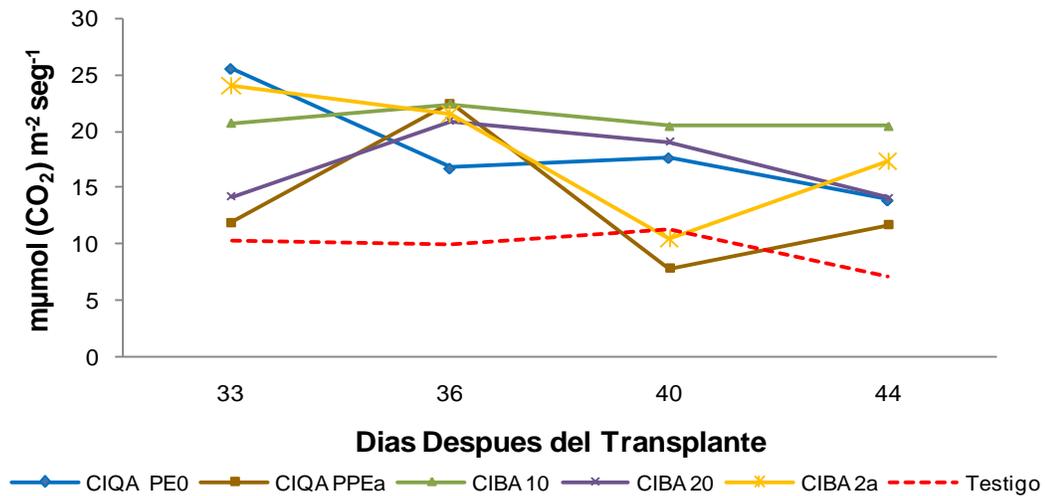


Figura 4.43 Comportamiento de la fotosíntesis del cultivo de pimienta bajo diferentes películas.

La resistencia estomática es un parámetro relacionado directamente con la fotosíntesis, la cual nos indica de manera indirecta el grado de apertura y cierre estomático, a medida que aumenta la resistencia estomática disminuye la capacidad de intercambio gaseoso entre la atmosfera y los estomas (Parra, 2001). En las plantas cultivadas como testigo presentaron la mayor resistencia estomática; lo que concuerda con la fotosíntesis baja medida; las plantas que se cultivaron en las películas CIQA PE0 y CIBA 10 mostraron una resistencia estomática baja y se mantienen estables con el tiempo, en general la resistencia estomática marca el comportamiento de la fotosíntesis (Figura 4.44).

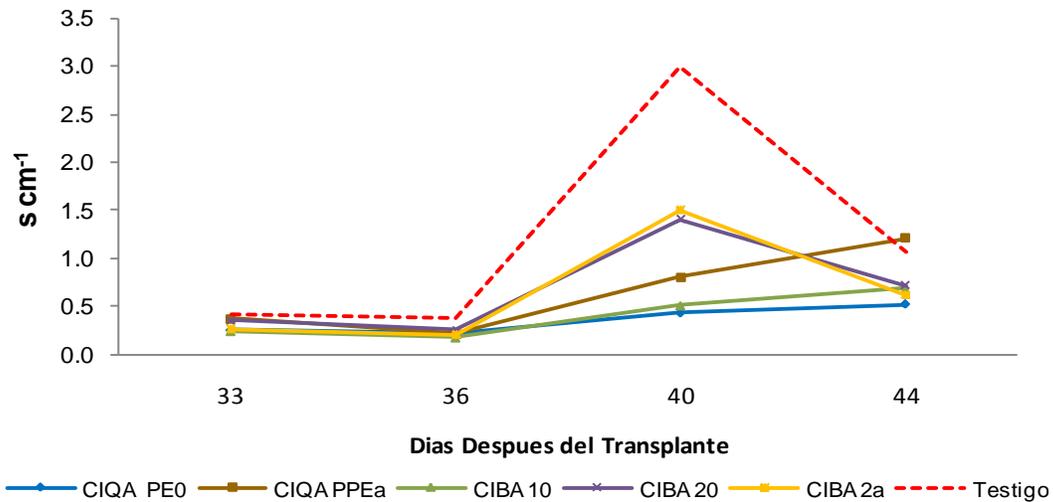


Figura 4.44 Resistencia estomática en plantas de pimiento cautivadas bajo diferentes películas.

4.13.8 Temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor al interior de los microtúneles

Las temperaturas en el interior de los microtúneles fueron poco variables, las películas CIBA 10 y CIBA 20 fueron las que mostraron las temperaturas más altas alcanzando los 38°C a medio día donde la incidencia de radiación es mayor, la película CIQA PPEa mostro en su interior las temperaturas más bajas con una máxima de 35°C; en la película CIBA 2a la temperatura más alta registrada en el día es de 37°C, mientras que la CIBA 10 durante la mañana muestra datos de los más bajos de temperatura (Figura 4.45). Todas las temperaturas registradas en el interior de las películas sobrepasan los 15 °C, al finalizar el día las temperaturas registradas se encuentran por encima de los 25°C este efecto se presentó porque en este periodo a las 8 de la noche aún existía radiación incidente que aumentó la temperatura y por el efecto abrigo de las películas. Según Castilla (2007), la temperatura óptima en pimiento durante el día se encuentra entre los 22 y 28°C, estos valores son mucho más bajos que los que se registraron en el interior de los microtúneles; sin embargo en invernaderos este parámetro puede ser mejor controlado en invernaderos con ventilación y sistemas de enfriamiento.

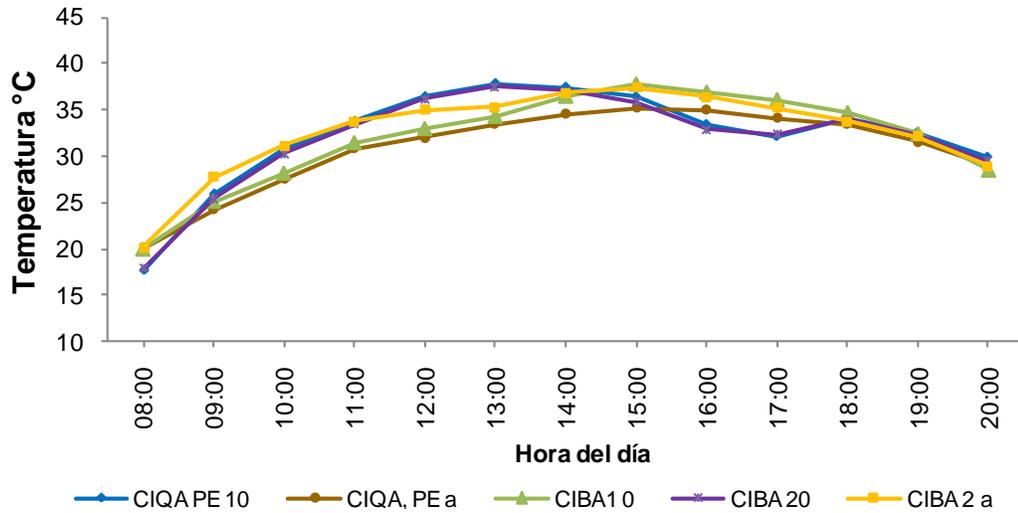


Figura 4.45 Promedios de temperatura registrados en microtúneles cubiertos con diferentes películas, durante el periodo primavera-verano en cultivo de chile pimiento.

Los datos de humedad relativa más altos fueron los registrados por la película CIQA PPEa, lo que coincide con las temperaturas más bajas registradas por esta película, la CIBA 2a presenta humedades relativas menor que la CIQA PEa pero mayor que la película CIBA 10 que muestra los niveles más bajos de humedad relativa (Figura 4.46). Cabe aclarar que tanto los resultados de la temperatura como la humedad relativa se deben de tomar con reservas ya que los túneles se tienen que abrir para ventilar, pudiera ser que no se abrieran exactamente igual pudiendo haber un sesgo en los resultados por el área tan pequeña del microtúnel, cuando estas películas se evalúen en los invernaderos entonces se podrá tener más control de estas variables y verificar los resultados obtenidos. Según Urrestarazu (2004) la humedad relativa óptima para el crecimiento del cultivo de pimiento se encuentra entre el 60% y 70%, los resultados de esta investigación muestran la máxima humedad relativa durante el día alrededor del 50% esto se puede ver reflejado en el rendimiento de las plantas.

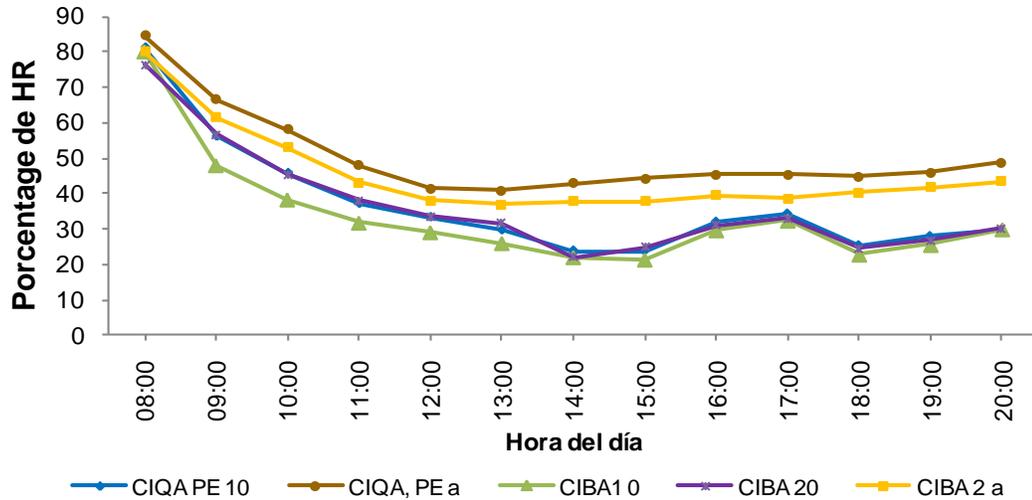


Figura 4.46 Promedios de humedad relativa registradas en microtúneles cubiertos con diferentes películas en el periodo primavera-verano en un cultivo de pimiento.

El déficit de presión de vapor (DVP), fue menor en las películas CIQA PEa y CIBA 2a (Figura 4.47), coincidiendo esto con los valores más altos de humedad relativa y el más bajo en temperatura para el caso de la CIQA PEa, esta película mostro una alta capacidad de difusión lo que se vio reflejado en la disminución de la temperatura aunado a una humedad relativa superior al 50% durante el día hizo que los valores de DPV fueran menores que en las demás películas. Magán *et, al.*, (2007), al comparar la producción de tomate en dos tipos de invernadero (venlo y multitúnel) encontraron que el invernadero tipo multitúnel presento los mejores rendimientos con valores de DVP entre 1.5 y 3 KPa, muy similares a los encontrados en este estudio en las películas CIQA PEa y CIBA 2a.

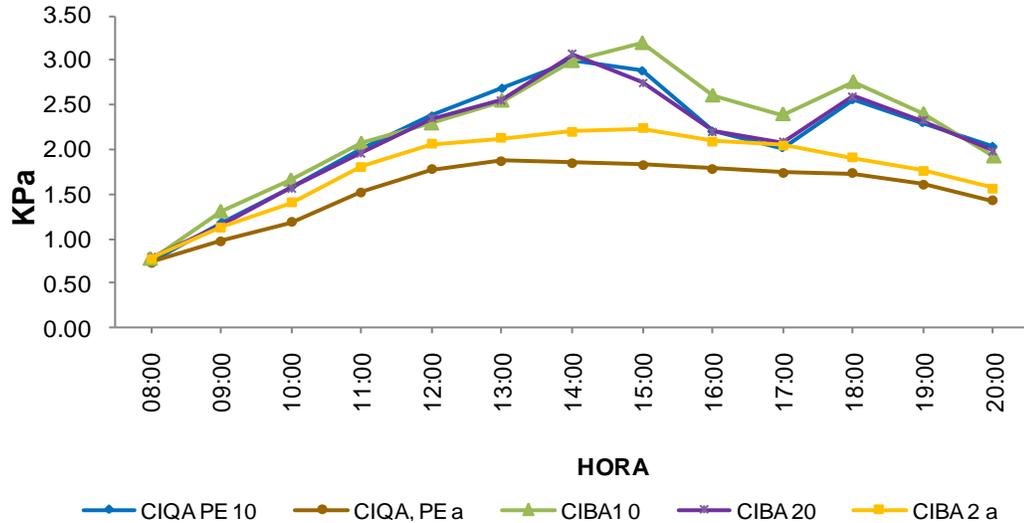


Figura 4.47 Déficit de presión de vapor en microtúneles cubiertos con diferentes películas durante el periodo primavera-verano en un cultivo de chile pimienta.

4.13.9 Rendimiento en pimienta (*Capsicum annuum L.*)

En el rendimiento, las cubiertas que sobresalen con mayor peso de fruto por metro cuadrado son la CIQA PEa con 2.42 kg/m^2 y la CIBA 2a con 2.44 kg/m^2 , el efecto de las cubiertas al menos mostro resultado en el primer y único corte. Durante este periodo estas películas son las que mejores condiciones de humedad relativa presentaron, en el caso de la CIBA 2a fue una de las que mejor transmisión de radiación PAR mostro, mientras que en el caso de la película CIQA PPEa fue la mejor capacidad de difusión de la radiación. El rendimiento más alto con la película CIQA PPEa coincide también con la mayor área foliar de las plantas en estas películas, por lo que se observa una buena respuesta en las plantas crecidas en las películas con mayor modulación o cierta interacción entre las propiedades ópticas presentadas, la temperatura y la humedad relativa.

Cuadro 4.8 Rendimiento del pimiento cultivado durante el periodo primavera-verano.

Película	Kg/m²
CIQA PE0	1.83 ab
CIQA PPEa	2.42 a
CIBA 10	1.75 ab
CIBA 20	1.80 ab
CIBA 2 ^a	2.44 a
Testigo	1.51 b

NOTA: Letras diferentes determina diferencia significativa entre los tratamientos.

V. CONCLUSIONES

- La adición de nanopartículas de óxido de zinc en las películas CIQA PPEa y CIBA 2a, no tiene un efecto negativo en la transmisión de la radiación fotosintética activa, tampoco existe un efecto negativo en la dispersión de la luz al interior de las películas, sin embargo, disminuyen considerablemente la transmisión de la radiación UV, por lo que pueden ser utilizadas como agentes protectores para este tipo de radiación.
- Todas las películas evaluadas a excepción de la CIBA 10, tienen buena capacidad de transmisión de radiación fotosintética durante el período de otoño-invierno, pero en primavera-verano la CIBA10 presenta un aumento en transmisión de la PAR y las demás mantienen los valores de transmisión.
- La película CIQA PEa presentó la mejor capacidad de difundir la radiación respecto a las demás películas evaluadas durante los periodos otoño-invierno y primavera verano.
- Las cinco películas evaluadas con cultivo presentaron muy buen bloqueo a la radiación ultravioleta, pero sobresale la película de la formulación CIQA PEa en los dos períodos del año evaluados.
- Las películas formuladas con nanopartículas de óxido de zinc no disminuyen la capacidad de los cultivos en su desarrollo, incluso en el pimiento tuvieron un efecto positivo en la producción, por lo que estas películas pueden ser consideradas para el recubrimiento de invernaderos. Los rendimientos más altos se obtuvieron en las películas CIQA PEa y CIBA 2a que tienen la mayor concentración de nanopartículas.

- Las películas probadas con la concentración más alta de nanopartículas de óxido de zinc mantuvieron sus propiedades mecánicas de resistencia al impacto, resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación dentro de los límites de la norma mexicana NMX-E-114-CNCP-2006 y de la norma española UNE-EN-12206. Además, hasta las 970 horas de exposición en la cámara de envejecimiento acelerado no presentaron disminución considerable en la resistencia a la tensión.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.
- Alpi, A. y Tognoni, F. (1991). Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica. 3era ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa: 343.
- Andrade J. L., Rengifo, E., Ricalde, F., Simá, J.L., Cervera C y Vargas, S. G., 2006. Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencias* 40: 687-697.
- Baillie, M. A. and Ballie, J. L. (1994). A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climates factor and leaf area. *Scientia Horticulturae* (57): 217-232.
- Bultynck L, Fiorani F. y Lambers H. (1999). Control of leaf growth and its role in determining variation in plant growth rate from an ecological perspective. *Plant Biol*;(1): 13-18.
- Camacho, F.F. (2003). Técnicas de Producción en cultivos protegidos. Tomo dos. Caja rural intermediterranea, Cajamar. Madrid España: 5541-544.
- Castilla P. N. (2007). Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. (Ed.) Mundi-Prensa, 2ª ed.
- Castro, S.G., González H. V., Engelman, E. N. y Villanueva, V. C., 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, julio-diciembre, año/vol. 11, número 002: 291-297.
- Catalina, F., Salemeron, A.,Garcia, Y. y Espi, E (2002). Aditivos fotoestabilizantes para filmes agrícolas. Interaccion con los pesticidas. *Plasticos modernos*. Vol. 83: 57-66.
- Callister, W.D., 2007. Ciencia e ingeniería de los materiales 2. Propiedades ópticas de materiales no metálicos. Editorial Reverte, S.A. Barcelona España: 720-723.
- Castillo, J.A., Uríbapri A., Sádaba, S., Aguado, G. y Galdeano, J.S., (2004). Guía del cultivo de pimiento en invernadero. ITG Agrícola. Navarra España: 7-13.
- Castro D.P, Puyravaud J.P. and Cornelissen J.H. (2000). Leaf structure and anatomy as related to leaf mass per area variation in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecol*;(124): 476-486.
- Cruz, M. y Johnson, B., (2002). Aspectos de la estabilización a la luz de filmes agrícolas. Ventajas de una nueva forma física de aditivo. *Revista de plasticos modernos*. Vol. 83: 67-75.

- Díaz, T., Etepí, E., Fontecha, A., Jiménez, J.C., López, J. y Salmeron, A. (2001): Los filmes plásticos en la agricultura agrícola. Madrid, Ed.Mundi-Prensa.
- Decker D.S. (1988). Origin(s), evolution, and systematics of Cucurbita pepo (Cucurbitaceae). *Economic Botany* 42(1): 4-15.
- Espí, E. y García A. Y. (2009). Invernaderos de plástico. Primera edición. Imprenta Graficas Arias montano, S.A. Madrid España: 73-79.
- Espí, E., Salmeron, A., Garcia, Y. y Catalina. F. (2002). Pigmentos de inferencia como modificadores del espectro de transmisión de filmes agrícolas. *Revista de plásticos modernos*. Vol. 83: 50-56.
- Gallo, K. P. and Daughtry C.S. (1986). Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies *Agronomy Journal*. Guevara, s., 2003. Estimacion de la Radiacion Solar. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS/CEPIS/03.89: 4-6.
- Gazquez, G. J., Hernández, L. J., Gómez, R. M., Ortuño, I.M., (2002). Evaluación de polinización en invernadero bajo plástico convencional y anti plaga. XXXII Seminario de técnicos y especialistas en horticultura. Logroño, Consejería de Agricultura, ganadería y desarrollo rural. Rioja, España:1-8.
- Guevara, E., Guenni, o., (2009). Potencial de crecimiento en cuatro líneas de leucaena leucocephala (LAM) durante el establecimiento. *Gominas*, Vol. 37:216-220.
- Goldberg, M.; Orden, S.; Mascarini, L. y Sierra, E. (1996). Transmisión Espectral en la Banda del PAR de las Cubiertas Plásticas para Invernaderos. *Revista de la Asociación Argentina de Horticultura* 15 (38): 51-54
- Hemming, S., (2008). Materiales difusos para cubiertas de invernadero no solamente para climas cálidos. *Revista Plasticulture* No. 127: 25-39.
- Hernandez, J., Escobar, I. y Castilla N., 2002. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. *Caja rural de Andalucía y Junta de Andalucía*. Andalucía España: 10-20.
- Huerta, C.N., Ortiz, C.J., Sánchez, C.F. y Mendoza, C. M., 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivado en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Julio-septiembre, Vol. 28: 287-293.
- Hunt R. 1990. Basic growth analysis. *Plant growth analysis for beginners*. London Unwinhyman: 112.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants.. En: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, Londres: 579-588.
- Hunt R., Causton, D. R., Shipley , B. and Askeu, A. P. (2002). A Modern Tool for Classical Plant Growth Analysis. Technical note. *Annals of Botany* 90. Quebec Canada: 485-488.

- Ibarra, J. L., Fernández, B. M., Munguía, L. J., Rodríguez, H. A., Díaz, P. J., Hernández, M. J. y Farías, L.J., 2001. Análisis de crecimiento en melón y pimiento con acolchado y microtúnel. *Revista Fitotecnia Mexicana*, enero-junio, Vol. 24: 39-48.
- Iglesias N., Muños A. (2007). Comparacion de la transmission de la radiacion fotosinteticamente activa en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina*. Rio negro Argentina 26(60): 10-16.
- Jones, G. H. (1992). *Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain: 428.
- Joseph, T. and Morrison, M. (2006). *Nanoforum Report: Nanotechnology in Agriculture and Food*. Nanoforum.org.
- López, R.R., Sánchez, C.F., Rodríguez, P.J., Mora, A.R., Colinas, L.M., (2009). Influencia de la radiación solar en la producción de semilla de papa bajo cultivo sin suelo. *Revista Chapingo serie Horticultura*: 25-30.
- López, H.J., (2003). Evolución de las estructuras y cubiertas para invernadero en el sureste español. *Técnicas de Producción en cultivos protegidos*. Tomo dos. Caja rural intermediterranea, Cajamar. Madrid España: 5541-544.
- Leskovar, D.I., J.C. Ward, R.W. Sprague and A. Meiri. 2001. Comparison of irrigation and stand establishment systems on yield, quality and water use efficiency of cantaloupe. *HortScience* 35:1238-1240.
- Magán J.J., López J.C., Escudero A. y Pérez-Parra J. (2007). Comparación de dos estructuras de invernadero (cristal vs. plástico) equipadas con sistemas de control activo del clima. *Actas de Horticultura nº 48*. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas: 880-883.
- Manrique, L.A. (1990). Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron. J.* 82(5): 881-886.
- Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz. *Ecosistemas*. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente: 1-11.
- Maroto, J.V., (2008). *Elementos de Horticultura General*. Madrid. Ediciones Mundi Prensa, 3ª edicoin; 113.
- Montero, J.I, Anton, A., Hernande, J. y Castillan, N. 2001. Direct and diffuse light transmission of insect proof screens and plastic films for cladding greenhouse. *ISHS International Symposium on Protected Cultivation in mild winter climates*. *Acta Horticulture* 599: 203-210.
- Morales, M. I. Hernández, J., Soriano, M. T., Martínez, F. M., Escobar, I., Berenguer, J. J., y Castilla, N. (2000). Optimización de la radiación en invernaderos mediterráneos para aumentar la calidad de las producciones. *IV Jornadas del grupo de Horticultura de la SECH*. *Acta de horticultura*: 123-126.

- Muñoz, P., Antón, A., y Montero, J.I. (2005). Cultivo de pimiento en invernadero. Influencia de la humedad ambiental y de la salinidad. Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura, 34., Murcia España: 26-30.
- Nilsen, E., and D. M. Orcutt. 1996. Physiology of Plant Under Stress. Abiotic Factors. John Wiley and Sons, New York: 689.
- Norma Española UNE-EN-13206, (2002). Películas termoplásticas para cubiertas para su utilización en agricultura y horticultura. Versión española de la norma europea "European standard" EN 13206 (2001).
- Norma mexicana NMX-E-114-CNCP-(2006). Industria del plástico. Película de polietileno tratada para usarse en la intemperie, en invernaderos y macrotuneles. Organismo nacional de normalización del centro de normalización y certificación de productos A.C.
- Orden, S.; De Oto, D.; Goldberg, M. y Mascarini, L. (1997). Transmitancia luminosa, espectral de mallas de sombreado para invernaderos. 7° Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina. Abril 28-30. p. 53-54.
- Papasseit, P., (2009). Nuevo concepto en la producción de plantas con luz difusa. Industria Hortícola. Horticultura Internacional: 32-36.
- Paris H.S. (2001). History of the cultivar-groups of Cucurbita pepo. Horticultural Reviews 25: 71-170.
- Paris H.S. and Janick J. (2005). Early evidence for the culinary use of squash flowers in Italy. Chronica Horticulturae 45(2): 20-21.
- Parra, Q.R., Becerril, R.E. y López, C.C., (2001). Transpiración, resistencia estomática y potencial hídrico en manzano "GOLDEN DELICIOUS" injertados sobre porta injertos clonales. Colegio de posgraduados, Montecillo, estado de México. Terra 20: 113-121.
- Pérez, J v., García M.E., Enríquez, Q.F. Quero, C. A., Hernández, G.A., (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (Brachiaria híbrido, cv.). Tec. Pec.: 447-458.
- Peñaranda A., Payan M.C., Garrido D., Gómez P. and Jamilena M. (2007). Production of fruits with attached flowers in zucchini squash is correlated with the arresto f maturation of female flowers. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 82(4): 579-584.
- Pérez, C., López, J. C., Gásquez, J. C., Meca, D. E., Marín, A., Bermudez, M. S. y Solera, A. (2007): Influencia de los plásticos antiplagas sobre la presencia de Bemisia tabaci y Frankliniella occidentalis. XXXVII Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura. Almería: 1029-1035.
- Pérez, E. y Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos básicos. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal. 2(3). Universidad Complutense de Madrid: 1-47.
- Pozo C., O.; S. Montes H. y E. Redondo J. (1991). Chile (Capsicum spp.) En: Ortega P., R.; G. Palomino H.; F. Castillo G.; V. A. Gonzalez H. y M. Livera

- M. (Eds.). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos en México. SOMEFI. Chapingo, Méx.: 217 - 238.
- Raffo, M.D. e Iglecias, N. (2004). Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. INTA, Argentina. RIA, 33 (2): 29-42.
- Ramirez, E.; Martinez, C.; Sanchez, L. y Balderas, C. (1995). Previsión de la duración de la vida útil de los filmes para la cubierta de invernaderos con la ayuda de diversos equipos de envejecimiento artificial acelerado.. Comité International des Plastiques en Agriculture. París, Francia. Plasticulture. Nº 105: 5-12.
- Ramos, V.A. y Zendejas, L.P., (2006). Efecto de la luz y temperatura sobre la fotosíntesis de *Amphipterygum adstringens*. XI congreso Internacional y Nacional de Ciencias Ambientales.
- Rodriguez, W. y Leihmer, D. (2006). Análisis de crecimiento vegetal. Fisiología de la producción de los cultivos tropical Vol. 7. Editorial de la UCR. Costa Rica: 13-17
- Rosales, L. R., (2007). Caracterización del proceso de abscisión floral en Cucurbita pepo Inducción mediada por etileno. Tesis Doctoral. Universidad de Granada España.
- Ruiz, P., Sanders B. y Vulic, i., Zenner J. (2004). Estabilización ultravioleta de películas de invernadero, experiencias de un proveedor de aditivos. V Congreso iberoamericano para el desarrollo y aplicación de plásticos en la agricultura, CIDAPA 2004: 55-62.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. (2000). Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Thompson Ediciones, Madrid: 557-564.
- Samaniego, C.E., Quezada, M. R., De la Rosa, I.M., Munguia, L.J., Benavides, M. A., Ibarra, J.L., (2002). Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrocienciaa, mayo-junio, Vol. 36: 305-318.
- Sanchez, M. P. (2007). Cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas de VID (*Vitis vinífera* L.) por factores bilógicos ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid: 48-50.
- Serope, K. y Steven, R. S., (2002). Manufacturing, Engineering and Technology. Fourth Edition. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.
- Schwartz H., Shachar, A. R., Kafrit I., (2005). Absorbentes IR para filmes agrícolas. Memorias del 4º Congreso Europeo de Aditivos y Colores, organizado por SPE en Alemania, marzo de 2005.
- Solera, A., Parra, A., Arevalo, A.B., Pérez, C. y López, J.C. (2009): Efecto de los plásticos antiplagas en el éxito del control biológico en cultivos hortícolas

- intensivos del sureste español. Acta de XVIII Congreso Internacional de CIPA y XI Congreso CIDAPA. Almería
- 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, el sector de la bricojardinería, construcción del paisaje y urbanismo.
- Shackelford, J.F. Materials Science for engineers. (2009). Mechanical Behavior. Seventh Edition. Library of Congress Cataloging Publication Data. U.S.A. Pp. 152-185.
- Stretanski, J. A., (1999). "Stabilization of Agricultural Film", China Agricultural Film Association Conf., Hangzhou.
- Thayer, A.M. (2002). Nanotechnology meets market realities. Chem & Eng News 80(29):17-19.
- Urrestarazu, G. M. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera edición: 749-790.
- Valle, M.J., (2010). Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de horticultura, Chapingo México: 35-51.
- Villar, R., T. Marañón, J. L. Quero, P. Panadero, F. Arenas and Lambers, M. (2004). Variation in growth rate of 20 Aegilops species (Poaceae) in the field: The importance of net assimilation rate or specific leaf area depends on the time scale. Plant and Soil 272: 11-27.
- Yao, C., Moreshet, S. Aloni, B. and L. Karni. (2000). Effects of climatic factors and water stress on the diurnal fluctuation in diameter of bell pepper fruit. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 75 (1)6-11
- Zabeltitz, C.V. (1998). Greenhouse structures. En: "Greenhouse Ecosystems". Stanhill, G., Enoch, H.Z. (Eds.). Elsevier. Amsterdam: 17-69.
- Zúñiga E. L., Martínez, H.J.J, Baca, C.G., Martínez G. A., Tiraro, T.J. y Kohashi, S.J., 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrocencias 38: 207-218.