TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA**

AUTOR: **JOSAFAT ALVARADO CAMARILLO** **FIRMA** _____

TITULO: **Evaluación microambiental en invernaderos cubiertos con película refrescante, convencional y malla sombra y su efecto sobre la productividad de tomate cherry tipo uva "sweet hearts".**

ASESORES: **M.C. María del Rosario Quezada Martin** **FIRMA:** _____

Dr. Marco Antonio Arellano García **FIRMA:** _____

El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a **7** **de** **Octubre** **de** **2013**

CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA

Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Saltillo, Coahuila a 14 de Octubre de 2013

Coordinación de Posgrado
Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **JOSAFAT ALVARADO CAMARILLO** titulado "Evaluación microambiental en invernaderos cubiertos con película refrescante, convencional y malla sombra y su efecto sobre la productividad de tomate cherry tipo uva "sweet hearts" el cual fue presentado el día **7 de octubre de 2013**, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

SINODALES

Dr. Luis Ibarra Jiménez
Presidente

Dr. Juan Guillermo Martínez Colunga
Secretario

M.C. Juanita Flores Velázquez
Vocal

Vo. Bo. de los ASESORES

M.C. Ma. Del Rosario Quezada Martin

Dr. Marco Antonio Arellano García

Blvd. Enrique Reyna No. 140
Saltillo, Coah. México 25253
Tel. (844) 438-9830
Fax (844) 438-9839
www.ciqa.mx

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Evaluación microambiental en invernaderos cubiertos con película refrescante, convencional y malla sombra y su efecto sobre la productividad de tomate cherry tipo uva "sweet hearts"

Presentada por:

JOSAFAT ALVARADO CAMARILLO

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

M.C. Maria del Rosario Quezada Marín
Dr. Marco Antonio Arellano García

SINODALES

Dr. Luis Ibarra Jiménez
Presidente

Dr. Juan Guillermo Martínez Colunga
Secretario

M.C. Juanita Flores Velázquez
Vocal

Saltillo, Coahuila **Octubre, 2013**

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones 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 7 de octubre de 2013

JOSAFAT ALVARADO CAMARILLO

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por permitirme terminar esta etapa de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para mi educación por medio del proyecto FOMIX, COAH-2011-C19-163415 "Validación y Transferencia de Películas para Invernadero con Características Termorreguladoras aplicables a la región sureste de Coahuila" y así poder concluir mis estudios de nivel postgrado, mi más profundo agradecimiento a esta gran institución.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por darme la oportunidad de formarme en sus aulas y laboratorios.

A la Maestra Rosario Quezada Martin por brindarme total apoyo y brindarme la confianza para llevar a cabo este proyecto. Agradezco también el tiempo dedicado tanto en la parte experimental, como en la escritura del documento.

Al Dr. Marco Arellano por su valiosa contribución a este trabajo en campo, por compartir sus conocimientos en el aula como en el campo y ayudarme en la puesta en marcha, mientras, durante y culminación del experimento.

A estos dos catedráticos MC. Quezada y Dr. Arellano, mi más profundo respeto, admiración, agradecimiento y reconocimiento; gracias por compartir su tiempo y conocimientos.

Al Departamento de Plásticos en la Agricultura a todos sus Catedráticos que en su momento compartieron sus conocimientos para mi formación a lo largo de mi estancia en la Maestría.

Un especial agradecimiento a la MC. Juanita Flores por la revisión del documento de tesis, así como al Dr. Guillermo Martínez y al Dr. Luis Ibarra por su valiosa colaboración en la revisión, gracias por su tiempo.

Al personal técnico del Departamento de Plásticos en la agricultura: a Don Jacobo, a Francisco, a Don Arturo, al Ing. Felipe, al MC. Eduardo y al MC. Federico por su apoyo y aportaciones al experimento.

Al departamento de Pruebas Físico-Mecánicas por el apoyo brindado en el trabajo técnico, en especial a la Maestra Araceli Noxpanco y al Lic. José Luis Saucedo por su valiosa colaboración, apoyo y enseñanzas en las pruebas de las películas.

A la Maestra Rosario Rangel del Laboratorio de caracterización Química por el apoyo brindado técnico de laboratorio en el análisis de las películas evaluadas.

A mis amigos y colegas que hicieron amena mi estancia en la maestría: Ing. Alfredo, Ing. Lehovvy, Ing. Ramón e Ing. Efrén. Gracias por su amistad.

DEDICATORIA

A mi padre Julio Amador Nájera† que siempre me apoyo incondicionalmente y me enseño a esforzarme, gracias por todo papa y esto es principalmente para ti.

A mi madre la Sra. Gloria María Camarillo Nava que siempre me ha alentado y me ha dado su apoyo incondicional.

A mis hermanos el CP. Jonatan Alvarado Camarillo que es un ejemplo de esfuerzo y superación.

A mi hermana la MC. Daniela Alvarado Camarillo por sus consejos y apoyo.

A mis tías la Srita. Gloria Isolda Camarillo Nava y la Srita. Blanca Camarillo Nava que son como mis madres, que siempre me han apoyado, aconsejado y guiado pese a todo y a todos y por siempre estar conmigo.

A mi tío el Sr. Efrén Camarillo Nava que es como mi segundo padre, que desde siempre ha estado conmigo sin importar nada y me ha aconsejado siempre acertadamente.

A mi novia Wendy Sarai Bernal Ramos que siempre ha estado conmigo apoyándome incondicionalmente en lo bueno y en lo malo, esto también es para ti.

"El agradecimiento es la memoria del corazón"

(Anónimo).

ÌNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	*i*
DEDICATORIA	*iii*
INDICE	*vi*
INDICE DE CUADROS	*viii*
INDICE DE FIGURAS	*x*
RESUMEN	*xv*
I. INTRODUCCIÒN…….	1
1.1 Objetivo General……	3
1.2 Objetivos Específicos……	3
1.3 Hipótesis……	4
II. REVISION DE LITERATURA……...	5
2.1 Fisiología del Cultivo de Tomate (Variedad Cherry)……	5
2.1.1 Germinación de Plántula ……...	5
2.1.2 Sistema Radical…….	5
2.1.3 Sistema Aéreo……	5
2.2 Factores que Afectan la Etapas del Tomate……...	7
2.3 Fotosíntesis……	7
2.3.1 Dióxido de Carbono (CO_2)……	7
2.4 Requerimientos del Cultivo de Tomate (Variedad Cherry)……...	8
2.4.1 Requerimientos Edafoclimáticos……..	8
2.4.2 Requerimientos Hídricos……...	11
2.4.3 Macronutrientes (N-P-K) …….	11
2.4.4 Micronutrientes Importantes……..	12
2.5 Nueva Tecnología para Películas de Invernadero…….	12
2.5.1 Películas Refrescantes o Frías……...	13
2.5.2 Películas Anti-insectos……...	14
2.5.3 Películas Anti-goteo……...	15
2.5.4 Películas Fluorescentes……..	15
2.5.5 Películas Térmicas…….	16
2.5.6 Películas Ultra Térmicas……	17
2.5.7 Películas con Nano partículas o Nano estructuradas…….	17

2.5.8 Malla Sombra……. 18
2.6 Propiedades Ópticas de Películas para Invernadero…….. 19
2.6.1 Termicidad……. 19
2.6.2 Transmitancia…… 20
2.6.3 Difusión……. 21
2.6.4 Opacidad…… 22
2.7 Propiedades Fisico-Mecanicas para Películas de Invernadero……. 22
2.7.1 Durabilidad…… 22
2.7.2 Resistencia a la Tension-elongacion……. 23
2.7.3 Resistencia al Impacto……... 24
2.7.4 Resistencia al Rasgado...……... 25
2.7.5 Envejecimiento Acelerado……. 25
2.8 Factores Ambientales sobre el Cultivo en los Invernaderos…….. 26
2.8.1 Radiación Total …….. 26
2.8.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)…… 27
2.8.3 Radiación Difusa……... 28
2.8.4 Radiación UV (A y B)……... 29
2.8.5 Temperatura……... 29
2.8.6 Foto receptores que Actúan por Radiación Ambiental……. 30
2.8.7 Concentración de Dióxido de Carbono…….. 33
III. MATERIALES Y MÈTODOS..... 34
3.1 Descripción del Área del Experimento…….. 34
3.2 Clima…….. 34
3.3 Descripción de las Cubiertas de Invernadero y Malla sombra…….. 35
3.4 Caracterización Inicial de las Cubiertas de Invernadero…….. 35
3.4.1 Pruebas Ópticas y Fisico-Mecanicas……. 35
3.4.2 Caracterización Óptica en Campo en Micro túneles……. 36
3.5 Medición de Radiación PAR, Temperatura, Humedad Relativa y Obtención de Déficit de Presión de Vapor (DPV) en los Invernaderos con Película CIQA, Comercial y Malla Sombra…… 37
3.6 Construcción de las Estructuras de los Invernaderos…… 38
3.7 Germinación de Plántula…… 40

3.7.1 Desinfección de Charola …….. 40
3.7.2 Material Genético para Trasplante……. 41
3.7.3 Siembra de Semilla…… 41
3.8 Preparación del Terreno en los Invernaderos…….…... 42
3.9 Instalación de Sistema de Riego, Acolchado y Grow Cover……. 43
3.10 Instalación de Tensores para Tutorar……... 44
3.11 Desinfección de Suelo…….. 44
3.12 Trasplante……. 44
3.13 Manejo Agronómico del Cultivo……. 45
3.14 Cosecha de Tomate…….. 49
3.15 Análisis de Información……... 50
IV. RESULTADOS Y DISCUSION……... 52
4.1 Caracterización Inicial de las Cubiertas….……... 52
4.1.1 Resultados de las Propiedades Ópticas Realizadas en Laboratorio y Campo……. 52
4.1.2 Transmisión de Radiación Infrarrojo Cercana (NIR)…… 52
4.1.3 Transmisión de Radiación Infrarroja Lejana (LIR)……... 53
4.1.4 Trasmisión de Radiación UV (UV A-B)…...…… 54
4.2 Pruebas Ópticas y Físico-Mecánicas...…….. 55
4.3 Envejecimiento Acelerado……. 56
4.4 Resultados de la Caracterización Óptica Inicial en Campo (CIQA). 58
4.4.1 Radiación UV…… 59
4.4.2 Radiación PAR…….. 59
4.4.3 Radiación Difusa……... 60
4.4.4 Radiación Total…….. 62
4.5 Evaluación Agronómica…… 63
4.5.1 Trasmisión de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en los Diferentes Invernaderos…….. 63
4.5.2 Evolución de la Radiación Fotosintética Mensual……. 73
4.5.3 Comparación de Temperatura en los Microambientes evaluados……... 76
4.5.4 Comparación de Humedad Relativa en los Microambientes Evaluados……... 81

4.5.5 Comparación de Déficit de Presión de Vapor en los Microambientes Evaluados…… 85
4.6 Correlaciones Entre Radiación PAR y Factores Ambientales……... 89
4.6.1 Correlaciones Entre Radiación PAR y Temperatura Ambiental…….. 89
4.6.2 Correlaciones Entre Radiación PAR y Humedad Relativa… 94
4.6.3 Correlaciones entre Radiación PAR y Déficit de Presión de Vapor……. 98
4.7 Rendimiento, Numero de Frutos y Peso Medio de fruto de Tomate Cherry Tipo uva en los Diferentes Ambientes…….. 102
V. CONCLUSIONES……. 104
VI. BIBLIOGRAFIA……... 105

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Requerimientos climáticos del cultivo de tomate……..	8
Cuadro 2.	Gasto de agua por invernadero/h…….....	46
Cuadro 3.	Gasto de agua/invernadero/ciclo……	47
Cuadro 4.	Fertilización llevada a cabo en la etapa de plántula……..	48
Cuadro 5.	Fertilización llevada a cabo mediante las etapas de floración, cuajado y cosecha……...	49
Cuadro 6.	Comparación de las propiedades físico-mecánicas de las películas evaluadas……	56
Cuadro 7.	Seguimiento de la caída de Tensión de dos películas de invernadero expuestas a cámara de envejecimiento acelerado QUV……..	57
Cuadro 8.	Seguimiento de la caída de Elongación de dos películas de invernadero expuestas a cámara de envejecimiento acelerado QUV…….	58
Cuadro 9.	Comparación de Medias de Radiación Media Fotosintética (6 A.M. a 9 P.M.) observada dentro de los invernaderos durante el experimento……	72
Cuadro 10.	Comparación de Medias de Radiación Máxima (1 P.M. a 3 P.M.) observada en los diferentes invernaderos durante el experimento…….....	72
Cuadro 11.	Medias (10 AM a 5 P.M.) del diferencial de trasmisión (%) de radiación PAR con respecto al exterior a través del tiempo, en invernaderos con diferentes cubiertas en el cultivo de Tomate Cherry Tipo Uva…….	72
Cuadro 12.	Comparación de Temperaturas Ambientales Medias Mensuales (6 A.M. a 9 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior……...	76
Cuadro 13.	Comparación de Temperaturas Ambientales Máximas Mensuales (1 P.M. a 3 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior……...	77
Cuadro 14.	Diferencial de Temperaturas Ambientales Medias (10 A.M. a	

5 P.M.) en los diferentes invernaderos con respecto al exterior. 77
Cuadro 15. Comparación de Humedad Relativa Media durante el experimento……..... 82
Cuadro 16. Comparación de Humedad Relativa Máxima durante el experimento……..... 82
Cuadro 17. Medias mensuales (10 A.M. a 5 P.M.) de diferenciales de Humedad Relativa (%) en Invernaderos y Malla sombra con cultivo de tomate cherry tipo uva y con respecto al exterior….. 83
Cuadro 18. Comparación de medias de Déficit de Presión de Vapor, Medias Mensuales (6 A.M. a 9 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior…….. 87
Cuadro 19. Comparación de medias de Déficit de Presión de Vapor Medias Máximas (1 P.M. a 3 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior…….. 87
Cuadro 20. Medias (10 AM a 5 P.M.) del diferencial de déficit de presión de vapor (Kpa) con respecto al exterior a través del tiempo, en invernaderos con diferentes cubiertas en el cultivo de Tomate Cherry Tipo Uva……. 88
Cuadro 21. Rendimiento, número de frutos y peso medio de fruto de Tomate cherry tipo uva en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas……... 103

ÌNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Cubiertas plásticas con características especiales para uso en invernadero……... 13

Figura 2. Efecto anti goteo (AD)……. 15

Figura 3. Efecto térmico de Películas de Invernadero……. 17

Figura 4. Mallas sombra convencionales, reflectantes y foto selectivas…. 19

Figura 5. Termicidad de Película para Invernadero……. 20

Figura 6. Comportamiento de la radiación solar directa sobre una película plástica de acuerdo al ángulo de incidencia de la radiación solar……... 21

Figura 7. Difusión de la luz en películas para Invernadero…….. 22

Figura 8. Radiación total, conformada por los componentes de radiación directa, radiación reflejada y difusa…….. 27

Figura 9. Radiación difusa ambiental sobre los cultivos…….. 28

Figura 10. Espectro PAR y longitud a la que actúan los sensores de las plantas……... 32

Figura 11. Caracterización óptica en campo de las cubiertas….……... 37

Figura 12. Sensor HOBO para tomar Temperatura y Humedad Relativa…. 38

Figura 13. Dimensionamiento y medidas (metros) de los invernaderos en el área del experimento……...…….. 39

Figura 14. Construcción de invernaderos, soportes estructurales y arcos del techo……. 39

Figura 15. Instalación de malla antiafido y película de polietileno de baja densidad para invernadero…… 39

Figura 16. Invernaderos y malla sombra terminados……. 40

Figura 17. Desinfección de charola sumergiéndola en agua con cloro……. 40

Figura 18. Siembra de semilla de tomate cherry tipo uva en charola se poliestireno……... 42

Figura 19. Instalación de acolchado al interior de invernadero……. 42

Figura 20. Dimensiones (metros) interior de invernadero y acomodo de camas en el interior de este (Vista superior)…… 43

Figura 21. Dimensionamiento (metros) de la cama de acolchado (Vista superior)…… 44

Figura 22. Plantas tutoradas……... 45
Figura 23. Tensiómetros ubicados en el centro del invernadero…… 46
Figura 24. Tomate cherry tipo uva, listo para cosecharse…….. 50
Figura 25. Transmitancia de la radiación infrarrojo cercano permitido por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA…… 53
Figura 26. Transmitancia de la Radiación infrarrojo lejano permitido por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA…… 54
Figura 27. Transmitancia de la radiación UV permitida por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA…….. 55
Figura 28. Transmisión de la Radiación UV permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA…… 59
Figura 29. Transmisión de la Radiación Fotosintéticamente Activa permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA…….. 60
Figura 30. Transmisión de la radiación difusa en el rango del visible permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA…….. 61
Figura 31. Porciento de difusión de la Radiación en el rango del visible permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA…….. 61
Figura 32. Transmisión de la Radiación UV permitida por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA…….. 62
Figura 33. Comportamiento de radiación de las diferentes películas plásticas y malla sombra respecto al exterior al inicio del experimento…….. 64
Figura 34. Radiaciones de las diferentes películas, malla sombra y exterior en el día con más temperatura registrada en el mes de Junio…... 65
Figura 35. Radiaciones medias horarias en el periodo 16-30 Junio 2012……..... 66
Figura 36. Comportamiento de la PAR el día de mayor radiación el mes de

Agosto……... 68
Figura 37. Radiaciones promedio horarias de periodo 1-15 Agosto 2012……...…….. 68
Figura 38. Radiaciones medias máximas el día 4 de Octubre 2012…….. 70
Figura 39. Radiaciones medias horarias del día en el periodo 1-15 Octubre 2012……..... 71
Figura 40. Radiaciones promedio medias horarias de las películas en los diferentes meses que duro el experimento…… 75
Figura 41. Temperaturas ambientales horarias, medias al inicio del cultivo en los diferentes invernaderos y exterior…….. 79
Figura 42. Temperatura ambiental en el día más caliente del mes de Junio en los diferentes invernaderos y exterior…….. 79
Figura 43. Temperaturas ambientales horarias, medias del 16 al 30 de Junio en los diferentes invernaderos y exterior……..... 79
Figura 44. Temperaturas medias máximas 2 Agosto 2012…… 80
Figura 45. Temperaturas medias horarias del periodo 1-15 Agosto 2012…. 80
Figura 46. Temperaturas medias máximas 4 Octubre 2012……... 80
Figura 47. Temperaturas medias horarias del periodo 16-31 Octubre 2012.. 81
Figura 48. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 30 de Junio en cultivo en los diferentes invernaderos y exterior…….. 84
Figura 49. Humedad Relativa horarias del 16 al 31 de Julio en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior …….. 84
Figura 50. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 31de Agosto en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior…….. 85
Figura 51. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 31 de Octubre en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior…….. 85
Figura 52. Déficit de Presión de Vapor promedio horario 16 al 30 Junio 2012…….. 88
Figura 53. Déficit de Presión de Vapor promedio horario 1 al 15 de Agosto 2012…….. 88
Figura 54. Déficit de Presión de Vapor horario promedio 16 al 30 Octubre 2012…….. 89
Figura 55. Correlación entre la radiación y la temperatura en el mes de

Junio 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA…….. 91
Figura 56. Correlación entre la radiación y la temperatura en el mes de Agosto del 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA…… 92
Figura 57. Correlación entre la radiación y la temperatura en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia, exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA……..... 93
Figura 58. Correlación entre la radiación y la humedad relativa en el mes de Junio 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA…….. 95
Figura 59. Correlación entre la radiación y la humedad relativa en el mes de Agosto de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA…… 96
Figura 60. Correlación entre la radiación y la humedad relativa en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA……. 97
Figura 61. Correlación entre radiación y el déficit de presión de vapor en el mes de Junio de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA……. 99
Figura 62. Correlación entre la radiación y el déficit de presión de vapor en el mes de Agosto de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA……. 100
Figura 63. Correlación entre la radiación y el déficit de presión de vapor

en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA……... 101

RESUMEN

El desarrollo de los cultivos esta íntimamente vinculado por factores ambientales tales como radiación, temperaturas, humedad relativa y déficit de presión de vapor, estos en conjunto darán como resultado un rendimiento potencial de una cosecha.

Sin embargo estos valores tienen que mantenerse dentro de parámetros aceptables para que el cultivo aproveche al máximo la luz, la humedad y que la temperatura no sobrepase los límites para estresar a la planta, provocando déficit de presión de vapor aptos para el desarrollo del cultivo.

El control de los parámetros se logra en invernaderos que pueden hacer producir de 5 a 12 veces mas que a campo abierto, sin embargo la selección de películas de recubrimiento de éstos se ha generalizado para todo tipos de climas, es por eso que en esta investigación se evaluó una película de recubrimiento para invernadero propia para climas calurosos una película refrescante CIQA.

En esta investigación se evaluó la película CIQA que es refrescante conjuntamente con una Malla Sombra y una película Comercial, viéndose como la película CIQA gracias a sus propiedades ópticas de difusión durante el experimento bloqueó hasta un 50% la radiación exterior durante los meses de mayor radiación modulando la temperatura interior del invernadero controlando la humedad relativa y propiciando un déficit de presión de vapor apto para el desarrollo del cultivo, mientras que la Malla Sombra tuvo un comportamiento parecido a la película CIQA sin embargo mantuvo humedades relativas altas propiciadas por lluvias ocasionando que el cultivo enfermara y acabara antes de tiempo, mientras que la película Comercial observó un comportamiento muy inadecuado para el desarrollo del cultivo ya que ésta dejaba pasar mayor cantidad de radiación de la requerida por el cultivo, esto impactaba en el aumento de la temperatura y baja humedad relativa y un déficit de presión de vapor inapropiado para el desarrollo del cultivo.

Todos los factores ambientales antes mencionados combinados y modulados dan como resultado un alto rendimiento, viéndose como la película Comercial no es apta para para climas cálidos reflejándose en un rendimiento bajo y como la Malla sombra es propicia para desarrollar enfermedades en el cultivo por precipitaciones no alcanzando el máximo potencial del cultivo, no obstante la película CIQA moduló de una manera muy eficiente los factores ambientales y mantuvo estos parámetros por mas horas del día dando como resultado una producción alta y un cultivo saludable.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) ocupa un lugar importante dentro de la agricultura mundial y sin duda un lugar insustituible en el agro mexicano. Durante 2008, se produjeron en todo México 2.26 millones de toneladas de jitomate, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35% del total nacional, monto 3.8 veces mayor al producido por el segundo lugar, Baja California, con 9%. Siguen en la lista los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco con 8%, 6% y 5%, respectivamente.

Regionalmente, a todo lo largo del territorio nacional se distribuye la producción de tomate, sin embargo, la zona productora de mayor importancia es la noroeste (SAGARPA, 2010).

La producción de este cultivo a campo abierto en México es de un promedio de 28.7 ton/ha^{-1}., por lo cual es la segunda hortaliza más importante por la superficie sembrada que ocupa; la más importante por su volumen en el mercado nacional, y la primera por su valor de producción (Nieto y Velasco, 2006). Generando de 5-8 empleos por ha.

Sin embargo es bien sabido que el mercado nacional, cubre gran parte de la demanda del mercado norteamericano cuando se genera el tope de producción en el estado de Sinaloa en los primeros meses del año, generando divisas por 462.6 millones de dólares en el año 2000 (SAGARPA, 2010)

Sin embargo actualmente los cultivos en invernadero y malla sombra han ganado mucho espacio a la agricultura tradicional, sobre todo para productos de exportación como el tomate por la alta productividad que se tiene y la excelente calidad que le permite los accesos a los mercados internacionales con mayores valores de la producción. Con manejos adecuados en los invernaderos se puede producir hasta 300 t·ha^{-1} con mediana tecnología, comparado con rendimientos entre 30 a 60 t·ha^{-1} en el método tradicional y generar de 7-10 empleos por ha.

En la actualidad el estado de Coahuila tiene de 1-5 % de la participación nacional en la producción de tomate (SAGARPA, 2010), y en invernadero, con el cultivo de tomate tiene aproximadamente 50 ha. dedicadas a este cultivo, con mediana tecnología (FIRA, 2006).

Es por eso la importancia de implementar las tecnologías de plasticultura: invernadero, acolchado y malla sombra para el aumento de producción y calidad en el estado de Coahuila, haciendo una revaloración agronómica de este cultivo con tecnologías

innovadoras y rentables para los productores, modificando los parámetros de temperatura, radiación, necesidad de agua y factores micro ambientales, que favorezcan a desarrollar un sistema saludable, sustentable y rentable para la producción exitosa de los cultivos de invernadero y en particular del tomate cherry tipo uva en el estado de Coahuila y México.

Los principales enfoques del uso de invernaderos son:

- Obtener cosechas en épocas en que las condiciones climáticas no son favorables para conseguir desarrollo y sobre todo producción.

- Mejorar la calidad de los productos cosechados, aumentar la productividad y reducir el riesgo de pérdidas debidas a condiciones ambientales adversas y a la incidencia recurrente de enfermedades y plagas, como disminuir el uso de pesticidas y hacer un uso más eficiente del agua y los fertilizantes.

Sin embargo, la mayor parte de los invernaderos en México no tienen sistemas automatizados de enfriamiento y calefacción por lo que el ambiente interior del invernadero, depende básicamente del tipo de película que se utiliza como cubierta. Un problema que enfrentan muchos agricultores que utilizan invernaderos en sus sistemas de producción son las elevadas temperaturas en regiones cálidas como las de la Región Noreste de México en donde se encuentra Coahuila. Las altas temperaturas son consecuencia de radiaciones solares en los meses de primavera y verano de más de 1000 $W \cdot m^{-2}$ (más de 2500 $\mu moles \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y radiaciones UV de cerca de 300 $W \cdot m^{-2}$, que se presentan en los meses de primavera y verano, lo que provoca una disminución en la calidad de las cosechas por el alto porcentaje de absorción de flores, estrés fisiológico por las altas temperaturas y déficit de presión de vapor y su consecuente disminución en los rendimientos y calidad de la producción, además de quemaduras en plántulas para trasplante, y disminución de la calidad de la flor en flores de corte. Por esta razón, se utilizan prácticas de encalado de los techos o se usan mallas sombra para reducir el paso de la radiación y así disminuir la temperatura, sin embargo, el encalado trae como consecuencia una disminución de la vida útil de las películas ya que la cal extrae los aditivos acelerando su degradación y el uso de mallas incrementa los costos de producción.

Actualmente, existen en el mercado internacional cubiertas para invernadero que tienen características diferentes como: térmicas, anti goteo, reducción del paso de la luz UV, control de incidencia de vectores de virus, control de ciertos hongos, así como películas foto selectivas que permiten el paso solamente de algunas longitudes de onda del espectro electromagnético que son más benéficas para las plantas, sin embargo, poco se ha trabajado en el desarrollo de nuevas películas que permitan controlar la temperatura interna de los invernaderos al disminuir la radiación, sin que esta disminución afecte negativamente el desarrollo y productividad de los cultivos.

En función de lo anterior en el CIQA se desarrolló una película que tiene propiedades ópticas que modifican la cantidad y calidad de la radiación solar para modular el microambiente en los invernaderos y aumentar la productividad y calidad en los cultivos.

1.1 Objetivo General

Evaluar y comparar una película para invernadero desarrollada en CIQA con una película Comercial y una Malla Sombra comercial y determinar las características ópticas adecuadas en condiciones climáticas de regiones de altas radiaciones y temperaturas y a requerimientos fisiológicos de los cultivos, que permitan modular las condiciones micro climáticas en los invernaderos y mejorar la productividad de los cultivos.

1.2 Objetivos Específicos

1. Demostrar que la película desarrollada en CIQA proporcione las ventajas micro climáticas de termorregulación y obtención de mayores rendimientos que la película Comercial y Malla Sombra comercial.

2. Comprobar que la película CIQA tenga las propiedades físico-mecánicas de acuerdo a la Norma Mexicana de Películas para Invernadero.

3. Determinar las diferencias en las propiedades ópticas de las películas de CIQA, Malla Sombra y la película Comercial y como estas afectan la trasmisión de los diferentes tipos de radiación y su efecto sobre la temperatura, humedad relativa y el déficit de presión de vapor y observar como estos parámetros impactan en el microclima de cada invernadero y en el desarrollo del cultivo de tomate cherry tipo uva.

4. Determinar la productividad y calidad de tomate cherry tipo uva en los diferentes microclimas generados por las diferentes cubiertas de invernaderos y como la producción cambia de acuerdo a las propiedades ópticas de cada película.

1.3 Hipótesis

La película desarrollada en CIQA proporciona mejores ventajas micro climáticas de termorregulación y obtención de mayores rendimientos y calidad que las contrapartes comerciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fisiología del Cultivo de Tomate

2.1.1 Germinación de Plántula

En las últimas dos décadas, la producción de tomate en el país ha cambiado de sistemas de producción tradicional a sistemas tecnificados, en donde la calidad de la plántula desempeña un papel crucial en la productividad (Berrospe *et al*., 2012).

La producción de plántulas requiere de grandes cantidades de sustrato en su mayoría son orgánicos y frecuentemente a base de turba de *Sphagnum* (peat moss) importada principalmente de Canadá, Letonia, Finlandia, Estonia y Holanda (INEGI, 2008).

El sustrato utilizado en la producción de plántula tiene cuatro funciones importantes:

1) Proveer el agua suficiente a la semilla y posteriormente a la plántula.
2) Suministrar los nutrimientos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la plántula.
3) Permitir el buen intercambio gaseoso entre la atmosfera y el sustrato.
4) Servir como soporte físico a la plántula. (Rodríguez *et al*., 2010)

2.1.2 Sistema Radical

Raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera a dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, córtex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes) (CIDH, 2009).

2.1.3 Sistema Aéreo

- **Tallo.**

Es anguloso y recubierto en toda su extensión de pubescencia, la mayoría de la naturaleza grandular que le confiere a la planta un olor característico. Al principio el

porte del tallo es erguido, pero llega un momento en el que el peso lo hace rastrear y obliga a realizar el tutorado (Nuez, 1995).

- **Hojas.**

Son pinnadas compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 50 cm de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales; que pueden a su vez ser compuestos. Los foliolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Son tipo dorso ventral o bifacial (Nuez, 1995).

- **Flor.**

Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están unidos por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Nodo Hortícola, 2009).

- **Polinización.**

Castellanos y Muñoz (2003) indican que esta se puede llevar a cabo de forma natural y con insectos polinizadores (abejorros), en caso de que no sea así se emplea cualquier método de polinización (vibradores, turbinas de aire).

- **Fructificación.**

La inflorescencia del tomate es un corimbo iniciado por el meristemo apical y consiste en un eje principal sosteniendo la flor lateral sin bracetas (Castellanos y Muñoz, 2003).

2.2 Factores que Afectan las Etapas del Tomate

Santiago y colaboradores (1998) mencionan que entre los factores que afectan las principales etapas fenológicas del cultivo (fecha a floración, fertilidad, número y tamaño de frutos, y rendimiento) se encuentra la temperatura, la captación de energía solar (fotosíntesis), la transpiración y el buen suministro de agua.

La planta de calidad posee atributos genéticos, morfológicos y fisiológicos para establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de la plantación. Para asegurar su persistencia en las plantaciones, se requiere establecimiento de organismos saludables, tamaño apropiado y balance adecuado de las biomasas aérea y subterránea (Rodríguez, 2008).

2.3 Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso fisiológico fundamental en las plantas, que genera energía y "bloques constructores" para todas las vías metabólicas, usando energía de la luz del sol.

La fotosíntesis se puede resumir como una síntesis de carbohidratos y conducida por la luz ($C_6H_{12}O_6$) de seis moléculas de dióxido de carbono (CO_2) y seis moléculas de agua (H_2O) con evolución de seis moléculas de oxigeno (O_2):

$$CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2.$$

La fotosíntesis ocurre en dos pasos principales: reacciones con luz y reacciones con carbono (Taiz y Zeiger, 2006).

La fotosíntesis requiere de energía lumínica y H_2O para sintetizar ATP y NADPH.H, moléculas usadas posteriormente para producir glúcidos a partir de CO_2, con liberación simultanea de O_2 a la atmosfera (Monza *et al*., 2010).

2.3.1 Dióxido de Carbono (CO_2)

La concentración de CO_2 en el invernadero, también juega un papel fundamental en la tasa de asimilación del mismo, su efecto se puede ver con claridad.

Normalmente, en el ambiente hay una concentración de CO_2 de alrededor de 300 ppm, aunque esta concentración es menor dentro del invernadero debido al consumo y limitaciones en ventilación (Lorenzo, 1998).

La concentración de CO_2 juega un papel tan importante que incluso, en sistema de producción de tomate de alta tecnología, se usa como una práctica de manejo el enriquecimiento atmosférico con anhídrido carbónico. Esta actividad no suele realizarse para invernaderos de baja tecnología o de tecnología intermedia, pues la inversión suele ser muy elevada y no se justifica si el precio del producto no es muy alto (Huerta, 2013).

2.4 Requerimientos del Cultivo de Tomate

2.4.1 Requerimientos Edafoclimáticos

- **Temperatura**.

Leskovar (2001), indica que la planta controla 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 reacciones bioquímicas están controladas por enzimas sensitivas al calor.

Cuadro 1 Requerimientos climáticos del cultivo de tomate (Burgueño, 2009).

Se hiela la planta		-2 °C
Detiene su desarrollo		10-12 °C
Desarrollo normal de la planta		18-25 °C
Mayor desarrollo de la planta		21-24 °C
Germinación óptima		25-30 °C
Temperaturas óptimas		
Desarrollo	Diurna	23-26 °C
	Nocturna	13-16 °C
Floración	Diurna	23-26 °C
	Nocturna	15-18 °C
Maduración		15-22 °C

- **Humedad Relativa.**

La humedad relativa en el ambiente interviene en diferentes procesos (Bautista y Alvarado, 2006):

- Amortiguamiento de los cambios de temperatura.
- Aumento o disminución de la transpiración.
- Crecimiento de los tejidos.
- Viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores.
- Desarrollo de enfermedades fungosas, por arriba del 80%.

Conforme aumente la humedad relativa del ambiente, será menor la evaporación y la transpiración de las plantas. A mayor temperatura, menor humedad relativa, mayor consumo de agua. A humedad relativa por arriba de 80% se forman grumos de polen y por debajo de 50% ocasionan deshidratación del estigma y afecta negativamente a la polinización, con esto podemos decir que la humedad relativa favorable para el tomate es de 60 a 70 % (Bautista y Alvarado, 2006).

- **DPV (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 retiene humedad. El déficit de presión de vapor puede ser utilizado para estimar la evapotranspiración (Baillie y Baillie, 1994).

Humedades altas, próximas a saturación, pueden disminuir la evapotranspiración (ETc) e inhibir la absorción de nutrientes, particularmente el calcio, así como acarrear problemas de enfermedades.

La extracción de humedad en el interior del invernadero se efectúa a través de la des humificación, un proceso que ajusta el equilibrio de agua en el aire y en las superficies del invernadero. DPV es la diferencia (déficit) entre la cantidad de agua en el aire (en forma de vapor) y la cantidad de humedad que puede acomodar cuando esta saturado de agua (vapor). DPV funciona como un práctico indicador del potencial de condensación al cuantificar cuan cerca esta el aire en el invernadero de su punto de saturación. El aire esta saturado cuando alcanza su máxima capacidad de retener agua en cualquier grado

de temperatura (punto de condensación). Al agregar humedad al aire mas allá del punto de condensación se produce una disposición de agua liquida en algún lugar del sistema hídrico (Prenger y Ling, 2007).

- **Luminosidad.**

Rodríguez *et al.,* (1997) mencionan que la luminosidad tiene una gran influencia tanto en la fotosíntesis como sobre el fotoperiodismo, crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos.

En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Caldari, 2007).

La luz es uno de los factores más importantes a considerar en el cultivo de tomate. En la agricultura ya se ha aceptado que las mediciones de luz son tomadas con sensores cuánticos que miden el flujo fotonico fotosintético. Esto significa que los medidores cuánticos están midiendo los micromoles y no las longitudes de onda de la luz. Se necesitan entre 800 y 1200 micromoles para un óptimo crecimiento y rendimiento.

El punto de saturación de luz es el punto en que un aumento adicional en la intensidad de la luz no aumenta la tasa de fotosíntesis. El tener un alto punto de saturación de luz es una gran ventaja, ya que las plantas de pimientos pueden aprovechar la alta luz solar disponible en zonas tales como Israel, México y España.

Una luz superior a los 1200 micromoles no dará lugar a fotosíntesis adicional. En los meses de verano las temperaturas del aire y los niveles de luz disponibles son muy altos. La luz extra puede no significar una fotosíntesis adicional, pero si significa que hay calor adicional. Por lo tanto, cuando se siembra en el verano se utiliza un sombreado adicional para mantener los niveles justo por debajo de los niveles óptimos, lo cual estimula el crecimiento vegetativo y evitar la caída de las flores (Howard, 2010).

Arellano y Quezada (2013), mencionan que el punto óptimo de compensación y de saturación de luz para el cultivo de tomate es de 500 y 1000 hasta 1200 micromoles, ya que al sobre pasar esta cantidad de 1200 micromoles los proceso fisiológicos de la planta no se llevan a cabo por exceso de generación de calor por aumento de temperatura ocasionando estrés en la planta y evitando la fijación de dióxido de carbono y frenando así la fotosíntesis para dar paso a la foto respiración con el gasto de energía subsecuente. También menciona que al sobrepasar los 1500 micromoles las plantas se dañan por golpe de sol y exceso de temperatura, sobre todo cuando las humedades relativas son muy bajas.

2.4.2 Requerimientos Hídricos

Para el establecimiento del cultivo de tomate se necesita con anterioridad un riego profundo, procurando que la cama quede bien mojada para tener una buena uniformidad de humedad y un buen prendimiento de plantas al trasplante (CDBPA, 2010).

La aplicación de agua para riego y los fertilizantes necesarios para el cultivo es una parte importante de la producción en invernaderos.

Se debe de contar con una fuente de abastecimiento de agua segura, de canal o pozo, energía eléctrica para el sistema de bombeo y depósitos para almacenamiento de agua.

La cantidad de agua absorbida a través de las raíces, es debido al proceso de transpiración. Con más área foliar mayor será el consumo de agua influenciado por: duración del día, intensidad de la luz, bajas y altas temperaturas.

El riego es un proceso de reintegración del agua que utilizo la planta, el agua se proporciona mediante goteros o cinta de riego. Es recomendable determinar la frecuencia del riego según el tiempo y el gasto por hora (Nuño, 2007).

2.4.3 Macronutrientes (N-P-K)

La necesidad de fertilizantes por parte del cultivo va a depender de la disponibilidad de nutrientes del suelo, del contenido de materia orgánica, humedad, variedad, la producción y la calidad esperada del cultivo. Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere de una alta disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Zn. Aunque la exigencia de N es alta, un exceso de este elemento puede llegar a un exagerado desarrollo vegetativo con bajo porcentaje de formación de frutos. Desde el momento del trasplante hasta la floración, la relación de fertilización de nitrógeno y potasio debe ser de 1:1 , pero cuando comienza el llenado de fruto, se requiere de una cantidad mayor de potasio ya que este elemento contribuye con la maduración y llenado de frutos; la relación de estos nutrientes debe ser 1:2 o 1:3 (CORPOICA, 2006).

2.4.4 Micronutrientes

Gaspar (2010), indica que los micronutrientes son fundamentales en los cultivos en los que la calidad es prioridad, como lo son los cultivos hortícolas, sin embargo algunos de los procesos fisiológicos generales son altamente demandantes en estos nutrientes. Estos cobran especial importancia en las condiciones de producción de suelos alcalinos debido a la fijación que se produce de los mismos en suelo.

2.5 Nueva Tecnología para Películas de Invernadero

Un tipo particular de película plástica, hecha principalmente de polietileno de baja densidad (LDPE) domina el mercado de cultivos protegidos en los países de la región mediterránea y todo el mundo. Actualmente se estima que en Francia y Grecia casi el 99% de la película de cubierta de invernaderos y 78% de los de Italia son cubiertos por películas LDPE (Briassoulis *et. al.* 1997).

La mayoría de estas películas contienen aditivos especiales que están diseñados ya sea para mejorar el rendimiento de la película en las condiciones especiales que se requieren en un invernadero, o para prolongar su vida útil, reduciendo al mínimo los efectos del medio ambiente en la estructura de las películas.

A pesar de los avances en la formulación de las películas, la mayoría de las películas de LDPE en uso hoy en día es prevista para durar durante un período bastante limitado, entre uno y cinco temporadas de cultivo.

La máxima vida útil generalmente anunciada por los fabricantes de las películas es de cuatro estaciones (cuatro inviernos, tres veranos) (Dilara y Briassoulis, 1998).

Figura 1. Cubiertas plásticas con características especiales para uso en invernadero (Fuente: CIQA, 2011)

2.5.1 Películas Refrescantes o Frías

Las plantas dependen principalmente de la energía solar para su crecimiento, desarrollo y producción, ya que mediante esta se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis, el cual es indispensable para su crecimiento. Una de las características primordiales que deben cumplir las películas plásticas para aplicación en agricultura, es de transmitir al cultivo mayor cantidad de luz solar posible, para que las plantas realicen su función fotosintética de forma optima y por otro lado que se tenga en el interior del invernadero un adecuado balance térmico. Una película comercial para invernadero como mínimo debe transmitir 80% de luz total para permitir el desarrollo de las actividades fotosintéticas de los cultivos (Sánchez *et al.*, 2004).

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 a exceso de la radiación solar principalmente en el rango del infrarrojo cercano (NIR). Los agricultores suelen solucionar este problema utilizando mallas de sombreo 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% del total, pero también disminuye la transmisión de la PAR. Las cubiertas ideales para este tipo de clima serían aquellas que filtren la NIR para mantener fresco en invernadero sin reducir la PAR, estas películas son las conocidas como refrescantes o antitérmicas (Espí *et al*., 2001).

La co-extrusión permite el uso de los aditivos específicos en cada capa, permitiendo lograr una película para la protección de los cultivos realmente superior. Plásticos "fríos": en este caso, los aditivos actúan absorbiendo radiación NIR (infrarrojo cercano 780-2500 nm), limitando la entrada de calor al recinto protegido con el plástico (Carluccio *et al.*, 2002).

Un estudio realizado por (Sánchez *et al*., 2004) sobre formulaciones de mezclas de polietileno con diferentes tipos de aditivos para cubiertas de invernaderos, mostró que estas películas tienen la habilidad de disminuir la temperatura dentro del invernadero con respecto a una película convencional, permitiendo una buena transmisión de luz, logrando un efecto positivo en cuanto al rendimiento de los cultivos, lo cual es importante en lugares del clima cálido. Esta disminución en la temperatura favorece a los cultivos ya que a temperaturas elevadas cusan quemaduras en las plantas.

El paso de alta radiación en forma difusa y menor radiación UV y NIR permite que las cubiertas se mantengan mas frescas, así como bajas radiaciones o muy altas radiaciones PAR influyen en áreas foliares mayores o menores lo cual esta estrechamente relacionado a la productividad (Quezada *et. al.* 2011).

2.5.2 Películas Anti-insectos

Los plásticos anti-insectos no actúan matando la plaga, su funcionamiento consiste en impedir la entrada de la radiación ultravioleta que los insectos necesitan para ver dentro del invernadero, sin afectar la radiación PAR que necesitan las plantas. Dependiendo de la plaga el efecto será mayor o menor, siendo mas importante en aquellas plagas que necesitan mayor cantidad de radiación UV.

Plagas como mosca blanca, *Bemissia tabaci*, se ven altamente afectadas por estos materiales. Si la mosca vuela por los alrededores del invernadero no es capaz de reconocer el cultivo, también la incidencia de *Thrips tabaci* se ha reducido bajo estos materiales comparándolos con plásticos normales (Pérez, *et al*., 2007).

En algunos casos se han reportado efectos adversos de estos materiales sobre los insectos polinizadores (abejorros y abejas), pero aun en estos casos puntuales, estos efectos son evitables con un correcto manejo de las colmenas y las ventajas por la reducción de plagas los compensan con creces (Espí, 2012).

Los trabajos realizados sobre el efecto que tienen estos plásticos sobre los insectos benéficos (polinizadores) han demostrado que no se observan diferencias en producción comparándolas con los plásticos normales (Soler, *et al*., 2009).

Sin embargo en resultados obtenidos por Dyer y Chittka (2004), muestran que los abejorros perciben cuando la radiación ultravioleta es removida o añadida ya que esta impacta directamente en el número de viajes hacia las flores para polinizarlas.

2.5.3 Películas Anti-goteo

Las películas anti-goteo están modificadas superficialmente para aumentar su higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) de forma que, al condensar el agua sobre ellos, lo haga en forma de lámina continua transparente y no de gotas aisladas.

Aumentan la transmisión de luz visible hasta en un 30%, por lo que su efecto es en general positivo para el cultivo, reducen las enfermedades criptogámicas al reducir el goteo sobre las plantas y favorecen el bloqueo de la radiación infrarroja por lo que ayudan a reducir las pérdidas de calor nocturnas. El principal inconveniente de este tipo de materiales de cubierta es que el efecto anti-goteo puede desaparecer al cabo de un tiempo debido a la extracción de estos surfactantes por el agua condensada, aunque en la actualidad ya existen en el mercado filmes plásticos cuya duración del efecto anti-goteo es al menos la de la vida útil del propio material (Espí, 2012).

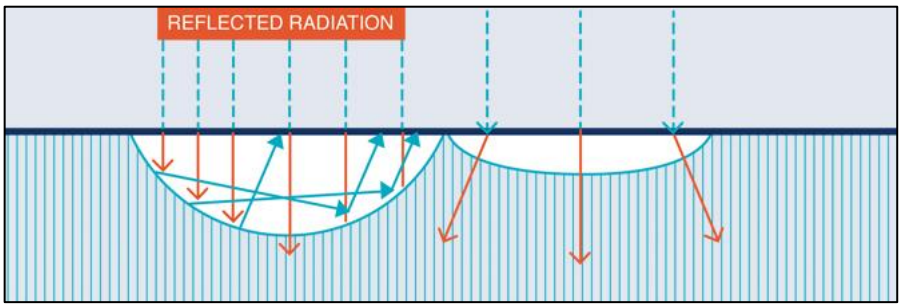

Figura 2. Efecto anti goteo (AD) (Fuente: Ginegar, 2013)

2.5.4 Películas Fluorescentes

Las llamadas 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.

Hasta ahora se ha observado que los efectos de este tipo de cubiertas no son universales sobre todos los cultivos, sino que tanto la producción, como la morfología de los cultivos (longitud de tallo, número de flores, etc.) dependen del tipo de cultivo, incluso de la variedad cultivada. Por tanto, será necesario más trabajo de desarrollo y adaptación de las características de emisión de estas cubiertas a cultivos y zonas específicos. Los nuevos plásticos agrícolas que contienen pigmentos fluorescentes pueden convertir la radiación ultravioleta en luz azul o roja o radiación verde en luz roja (películas coloreadas naranja-rojas). Los parámetros más importantes para este tipo de películas son la transmisión de luz total, la distribución espectral, el efecto fluorescente y su foto estabilidad (Espí, 2012).

2.5.5 Películas Térmicas

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 de onda larga durante la noche que son emitidas por el suelo y las plantas. De esa manera mantienen mayor temperatura dentro del invernadero aun en momentos en que la temperatura exterior es muy baja.

Los plásticos térmicos son adecuados para zonas frías o propensas a largos periodos o helados. Durante el día se busca que el calor acumulado dentro del invernadero no sobrepase 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 (Espí *et al*., 2006).

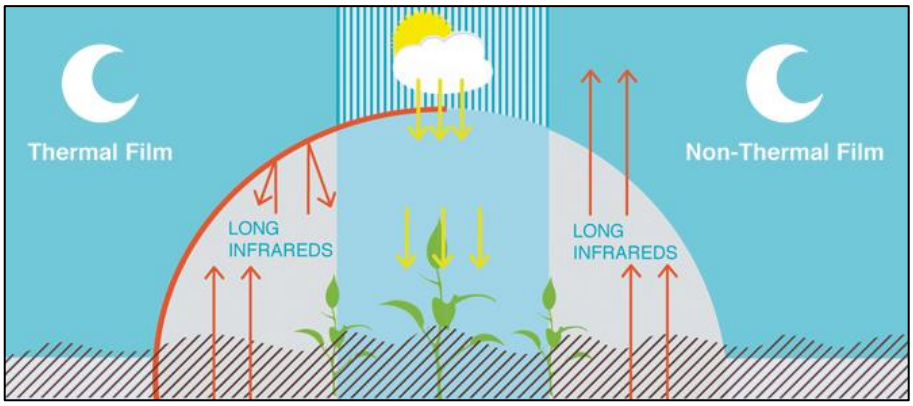

Figura 3. Efecto térmico de Películas de Invernadero (Fuente, Ginegar, 2013)

2.5.6 Películas Ultra Térmicas

Durante la década de 1990 los rellenos más usados fueron silicatos, especialmente el caolín calcinado. El caolín calcinado tiene algunas limitaciones importantes: acelera la foto degradación de la película, aumenta moderadamente la bruma y disminuye la transmisión de la luz. Hay rellenos comerciales mejores como hidrotalcitas que no son degradantes y no afectan a las propiedades ópticas de la película, pero son mucho más caros.

Las investigaciones recientes han desarrollado una familia de cargas minerales que no son degradantes, no reducen la transmisión de la luz y dan una haz muy alto o muy baja, dependiendo de lo que es requerido. Ahora que la cantidad de relleno mineral no es un factor limitante, mayores niveles de efectividad de infrarrojo se pueden propiciar dando una nueva generación de películas de térmicas a las películas ultra térmicas (Espí *et al*, 2006).

2.5.7 Películas con Nano partículas o Nano estructuradas

La preparación de películas plásticas a base de materiales nano-estructurados encuentran gran aceptación en diferentes áreas siendo una de ellas las películas de ambientes controlados, en las que se aprovechan las propiedades ópticas, superficiales y de permeacion 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 microclima bajo este ambiente, lo que influirá en los procesos fisiológicos y de desarrollo de las plantas.

Considerando la aplicación del polietileno para cubiertas de invernadero estas deben de cumplir con valores estándar de transmisión de luz visible y de opacidad al infra-rojo, además de asegurar un tiempo de vida útil de esta película al ser expuesta a la intemperie (Sánchez, 2007).

2.5.8 Malla Sombra

Las Mallas Sombra negras y aluminadas son ampliamente utilizadas en el cultivo protegido de plantas hortícolas como técnica de control de la luz y la temperatura (Ayala-Tafoya *et. al.* 2011).

Tradicionalmente se utilizan Mallas de polietileno o polipropileno de color negro que se califica como neutro, es decir, que origina disminución en la irradiación pero modifica relativamente poco el balance espectral de la radiación transmitida. Por otro lado, el uso de malla sombra de diferentes colores, o bien entretejida con material reflejante de color plata o blanco, modifica de manera drástica tanto la irradiación como el balance espectral de la radiación transmitida permitiendo así manipular el desempeño de las plantas (PAK Unlimited, Inc).

El uso de mallas es común en horticultura para reducir la carga de calor en verano en los cultivos, sin embargo, esa sombra puede aumentar la elongación a niveles no deseados. Una posible solución es usar mallas sombra foto selectivas para superar el problema de elongación (Cummings *et al*., 2008).

En un estudio realizado por Cummings *et al* 2008 demostraron que la malla foto selectiva de color azul y rojo puede utilizarse para manipular la altura de la planta y la floración en cultivos.

La utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termo reflectoras es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en la horticultura protegida, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas de temperatura durante los períodos cálidos (Valera *et al*., 2001).

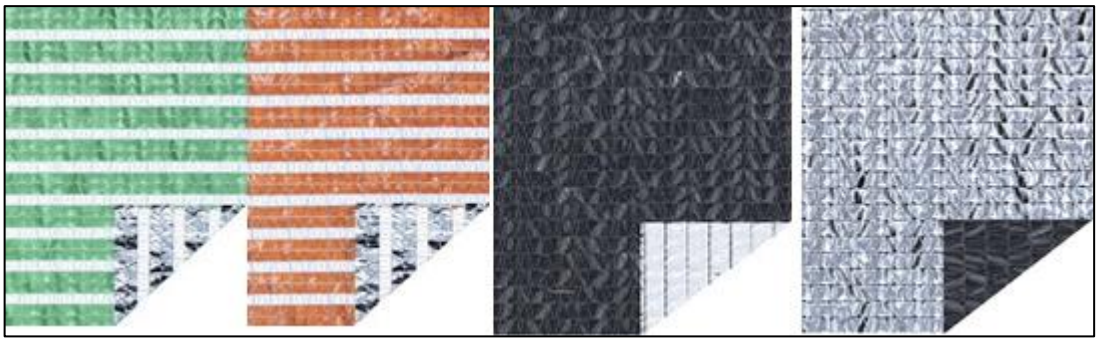

Figura 4. Mallas sombra convencionales, reflectantes y foto selectivas (Arpiplastic, 2012)

2.6 Propiedades Ópticas de Películas para Invernadero

2.6.1 Termicidad

El saber si un plástico tiene realmente propiedades térmicas validas o no es importante en dos aspectos:

1. En primer lugar el económico, puesto que el plástico "térmico" es mas caro que el que no lo es.

2. En segundo lugar, el agronómico, puesto que si se va a utilizar en zonas mas o menos frías, o en la protección de cultivos exigentes en temperatura, puede encontrarse el agricultor cuando llegan los meses fríos con la desagradable sorpresa de que puedan llegar a helarse las plantas o al menos frenarse su desarrollo.

Por lo tanto, es fundamental estar informado y conocer cuando un plástico esta considerando como térmico y cuando no lo esta. Existen algunas láminas de plástico con la característica termoaislante las cuales son relativamente opacas a las radiaciones infrarrojas de longitud de onda larga emitidas por el suelo, por las plantas y por las estructuras de los invernaderos, disminuyendo o eliminando la inversión térmica y mejorando el efecto de abrigo.

Según la norma española UNE 53.328 el "efecto termo aislante" de las laminas consideradas como "térmicas" debe de ser inferior al veinte por ciento cualquiera que

sea su espesor. Todo esto quiere decir que un plástico podrá considerarse realmente como “térmico” cuando deje escapar por la noche menos del veinte por porciento del calor acumulado durante el día en el interior del invernadero (Robledo, 1987).

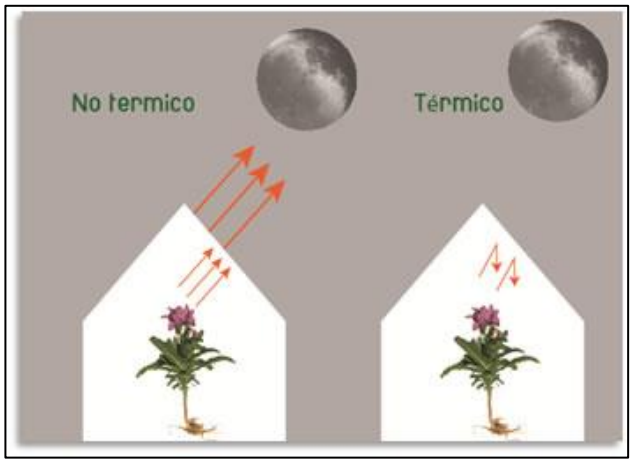

Figura 5. Termicidad de Película para Invernadero (Cosechando natural, 2011)

2.6.2 Transmitancia

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.

La proporción de radiación que atraviesa la lámina se conoce como transmitancia y dependerá de las características de la lámina y del tipo de radiación (directa o difusa). La calidad de la luz es, asimismo, afectada al atravesar la lámina plástica. En caso de radiación directa, la transmisividad dependerá también del ángulo de incidencia, representado en la figura 6 por α, que forman los rayos solares con la línea perpendicular a la superficie de la lámina.

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 *et. al.* 2001).

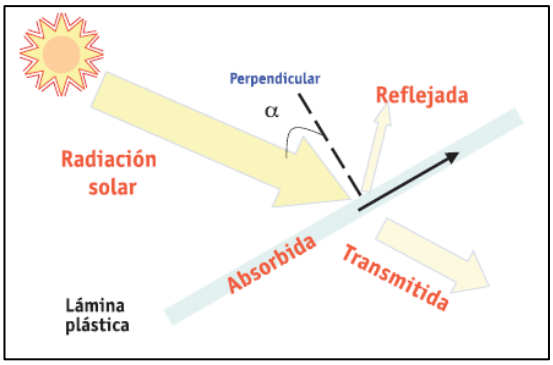

Figura 6. Comportamiento de la radiación solar directa sobre una película plástica de acuerdo al ángulo de incidencia de la radiación solar (Fuente: Guevara y Guenni 2009)

2.6.3 Difusión

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

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 *et al*., 2008).

Según Arellano y Quezada (2013) se aumenta la difusión de la luz en una película si se disminuye la trasmisión de radiación total y fotosintética.

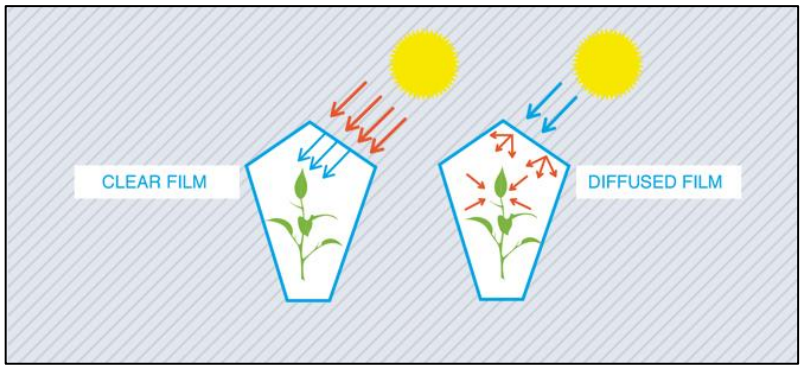

Figura 7 Difusión de la luz en películas para Invernadero (Fuente: Ginear, 2013)

2.6.4 Opacidad

La transmisión de la luz a través de las películas plásticas es una forma de medir la opacidad. A mayor cantidad de luz transmitida con respecto de la luz incidente, menor opacidad.

Para algunas aplicaciones la opacidad de las películas es un parámetro clave. Las películas agrícolas deben poseer un cierto nivel de opacidad para prevenir el crecimiento de las malas hierbas como es el caso de los acolchados, mientras que las películas utilizadas para recubrimiento de invernadero deben tener poca opacidad (Hemming, 2008).

2.7 Propiedades Físico-Mecánicas de Películas para Invernadero

2.7.1 Durabilidad

Las cubiertas de invernadero sufren degradación térmica y fotoquímica durante su uso. Hoy en día la duración de las películas de invernadero puede variar entre 6 y 45 meses. En los países industrializados estas tienen una vida mínima de (1-4 temporadas agrícolas) está durabilidad esta garantizada por el proveedor (Díaz *et. al.* 2001).

Los parámetros más importantes que afectan la vida útil de las películas de invernadero pueden agruparse en dos clases (Espí *et al*, 2006):

1: parámetros inherentes de la película:

- Tipo de polímero (LDPE, LLDPE, EVA, EBA, otros).

- Tipo de película (mono capa o multicapa).
- Aditivos de estabilización.
- Otros aditivos (cargas minerales, pigmentos).
- Espesor de la película.
- Fabricación de película.

Las clases principales de estabilizadores de luz utilizados en películas de invernadero son:

- Absorbentes de UV (moléculas generalmente orgánicas del tipo Benzofenona, benzotriazol o triazina), níquel (a menudo llamados extintores) de derivados y poliméricos HALS (amina obstaculizada, estabilizadores de luz).

2: parámetros ambientales:

- Material de la estructura (hierro galvanizado, madera).
- Diseño de invernadero (altura, ventilación, fijación de la película).
- Parámetros geográficos y meteorológicos (radiación solar, temperatura, lluvia, altitud).
- Agroquímicos (composición de los productos químicos, frecuencia de aplicación, el método de aplicación).

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).

2.7.2 Resistencia a la Tensión-elongación

El ensayo de tensión es la prueba más común para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, ductilidad, tenacidad, modulo elástico y endurecimiento por deformación (Kalpakjian y Schmid, 2002). En este ensayo se aplica una fuerza que jala el material tendiéndolo a elongar y reducir su diámetro. Las normas de la ASTM

especifican la preparación del espécimen de prueba y el procedimiento para el ensayo (Groover, 1997).

El ensayo de tracción mide la resistencia que la película para cubierta de invernadero presenta a la elongación, según la norma ASTM D-882 se trabaja con tiras de 50 mm mas largas que la distancia entre mordazas con un ancho entre 5 y 25.4 mm.

La maquina de tracción universal mide la resistencia a la tracción y la elongación de muestras. Las muestras deben ser previamente inspeccionadas en búsqueda de alteraciones en la superficie que puedan alterar el valor medio.

Una vez colocada la muestra se mide el valor de tensión y elongación indicado por la maquina. Se repite el ensayo para muestras cortadas en dirección longitudinal y en sentido transversal a la extrusión (Rigail y Godoy, 2009).

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 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 tención y tenga mayor porcentaje de elongación se facilitara el manejo al momento de su colocación en la estructura del invernadero (Shackelford, 2009).

2.7.3 Resistencia al Impacto

En muchas operaciones de manufactura, así como la vida de servicio de los componentes los materiales están sujetos a cargas de 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 tienen una elevada resistencia y ductilidad, por tanto una elevada tenacidad. La sensibilidad a los defectos superficiales reduce significativamente la tenacidad al impacto (Kalpakjian y Schmid, 2002).

El ensayo de impacto por dardo que se realiza a películas para cubierta de invernadero se efectúa con base a la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM D-1709) que indica que el ensayo consta de un dardo de punta semiesférica con diámetro de 1 ½” (38 mm) la cual se deja en la caída libre de 0.66 m y pesas para el

dardo (rango de peso 50-850g), una abrazadera anular y un recipiente metálico con el cual se pondrá la película plástica que se someterá a prueba.

El ensayo consiste en dejar caer el dardo y se van añadiendo pesas al dardo hasta obtener el peso que logre romper completamente la muestra. Se debe revisar que la muestra no tenga irregularidades o cortes que puedan ser un concentrador de esfuerzo y facilitar la ruptura de la película (Rigail y Godoy, 2009).

2.7.4 Resistencia al Rasgado

Prueba realizada en el Elmendorf, en el cual se aseguran las muestras de película, se les realiza un rasgado inicial y por medio de un péndulo se determina la fuerza que se requiere para terminarlo de rasgar (Matallana y Marfa, 1978).

Esta norma mexicana no es aplicable para ensayar películas de materiales más rígidos como las de poli cloruro de vinilo (PVC) no plastificado, poliamidas o poliéster (NOM-E-027-SCFI-2003).

2.7.5 Envejecimiento Acelerado

La radiación solar es un factor importante en la degradación de los materiales plásticos, fundamentalmente su componente ultravioleta (UV), factor preponderante en el proceso de envejecimiento (Nijskenst, *et al*., 1993).

Aunque un estudio de envejecimiento acelerado en cámaras QUV o de arco de Xenón no son cien por ciento confiables, a menos que anteriormente se haya realizado una correlación entre el tiempo de envejecimiento en cámara y envejecimiento en intemperie para un determinado material y conociendo la radiación recibida, se da una referencia de la duración en tiempo que puede tener la película en el campo (Quezada, 2013).

Se considera que un material plástico esta envejecido después de su exposición a la radiación solar, o en cámara de envejecimiento acelerado, y por lo tanto no es apto para su uso, cuando ha perdido el 50% o mas de las propiedades ópticas o mecánicas evaluadas, principalmente es la elongación la que se toma como referencia (Ramírez *et al*., 1995).

2.8 Factores Ambientales sobre el Cultivo en los Invernaderos

Los principales factores que caracterizan e influyen en el entorno de invernadero son radiación, humedad, temperatura, tasa de ventilación y la concentración de dióxido de carbono.

2.8.1 Radiación Total

La cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período se denomina irradiación. Se expresa en unidades de energía por unidad de área, $W \cdot m^2$. La radiación solar en el suelo a veces se denomina insolación.

La medición de la energía solar se realiza por medio de solarímetros ó pyranometros. Estos están basados en el principio de absorción de la radiación solar por un cuerpo negro y en la conversión de esta radiación a otra forma de energía, la misma que es proporcional a la intensidad de la radiación.

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. Por otra parte, 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 del cuerpo (Guevara, 2003).

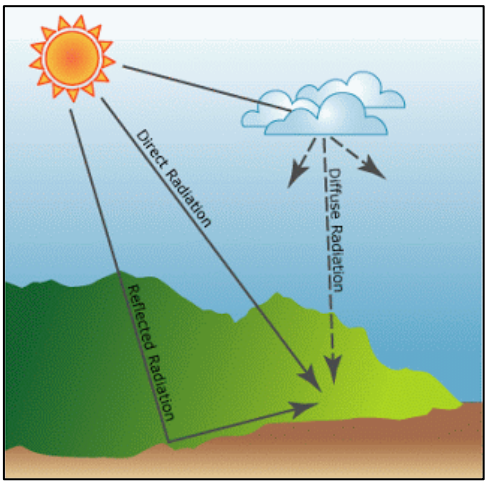

Figura 8. Radiación total, conformada por los componentes de radiación directa, radiación reflejada y difusa (Pons, 1996)

2.8.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

La radiación solar que llega a la atmosfera la podemos dividir en tres categorías de acuerdo a su nivel de energía: radiación ultravioleta (280-400 nm), radiación visible (400-700 nm) y radiación infrarroja (700-900 nm). La intensidad de la radiación varia en función de la hora del día y la época del año, ya que depende del ángulo de incidencia de los rayos, que a su vez depende de la altitud solar (Velasco, 2001).

Para la fotosíntesis la planta utiliza solo la radiación de 400 a 700 nm 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 incidente (Jones, 1992).

La energía aprovechable de la radiación solar proviene de la región del espectro visible e infrarrojo cercano, que son las ondas electromagnéticas que producen un incremento de la energía interna de un cuerpo (Guevara y Guenni, 2009).

Cuando la radiación es elevada, la concentración de CO_2 puede disminuir rápidamente hasta concentraciones que limiten la fotosíntesis y el crecimiento, de modo que para mantener la fotosíntesis será necesario restaurar la concentración de CO_2 mediante enriquecimiento artificial o ventilación (Picken *et al*., 1986).

2.8.3 Radiación Difusa

A su paso a través de la atmosfera, parte de la radiación solar es atenuada por dispersión y otra por absorción. La radiación que es dispersada por la atmosfera se conoce como radiación difusa (Solartronic, 2003).

Para muchos cultivos hortícolas la luz difusa significa crecimientos mas 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. En general se ha comprobado que la luz difusa incrementa tanto la cantidad como la calidad de la producción para una amplia variedad de plantas. 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 homogeneizando la luz en el dosel de las plantas (Orden *et al*., 1997).

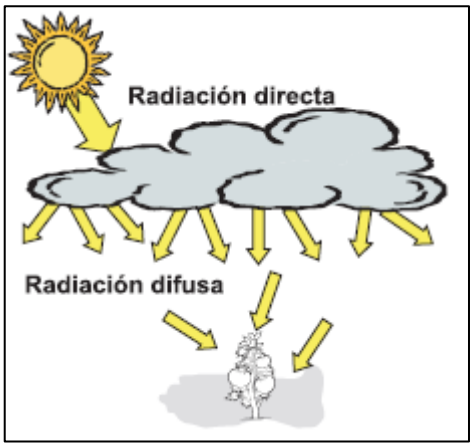

Figura 9. Radiación difusa ambiental sobre los cultivos (Hernández, 2001)

2.8.4 Radiación UV (A y B)

La radiación ultravioleta es una parte muy pequeña del conjunto de la luz solar que recibe la superficie del planeta, pues constituye entre un 7% y un 10% de esta. Los componentes de la radiación UV son la radiación UV-C, comprendida entre los 200 y 280 nm, la UV-B comprendida entre los 280 y 320 nm y la UV-A entre los 330 y 400 nm. Esta última radiación es poco absorbida por el ozono. Por lo que llega en mayor cantidad a la superficie de la tierra y constituye una importante señal fotomorfogenica en las plantas y es la menos dañina. Por el contrario, la UV-C es la mas energética y dañina para el ADN. Sin embargo, por ser la mas absorbida por el oxigeno y el ozono de la atmosfera prácticamente no llega a la superficie terrestre (Carrasco, 2009).

Dentro de los procesos metabólicos afectados por la radiación UV-B se pueden resaltar aquellos relacionados con el metabolismo energético como lo son la fotosíntesis, aquellos relacionados con la síntesis de metabolitos secundarios, y finalmente aquellos relacionados con la detoxificación de especies reactivas de O_2 (Carrasco, 2009).

Según los resultados de Olsson *et al* en 2000 indican que la radiación UV-B sirve como un estrés adicional por foto inhibición por alta PAR y esta puede servir para disminuir la aptitud de la planta.

2.8.5 Temperatura

La ventilación es el método principal de control de temperaturas altas en un invernadero. La ventilación natural se utiliza sobre todo en la actualidad ya que requiere menos energía y equipos que otras formas de ventilación.

El funcionamiento de la ventilación juega un papel importante en la producción, que afectan no sólo a las condiciones ambientales del invernadero, sino las propiedades cualitativas y cuantitativas del cultivo (Pontikakos *et. al.*, 2005).

Una temperatura de día entre 70 °F (21.5 °C) y 82 ºF (28 °C) es la óptima, mientras que de noche la óptima para tomates de invernadero está entre 62 °F (17 °C) y 64 ºF (18.1 °C).

Durante tiempo nublado, se prefiere una temperatura cerca de los valores más bajos, mientras que en tiempo soleado, las temperaturas cercanas a los valores más altos son

las mejores. Por debajo de los 60 ºF (15 °C), puede ocurrir deficiencia de nutrientes ya que las plantas no pueden absorber algunos elementos a dichas temperaturas.
Evitar las temperaturas por encima de 90 ºF (33 °C) en lo posible. A 86 ºF (30.5 °C), el licopeno (el pigmento que da el color rojo a los tomates) no se desarrolla más (Snyder, 2010).

2.8.6 Fotoreceptores que Actúan por Radiación Ambiental

Existen varios pigmentos en las plantas que están relacionados a respuestas de diferentes tipos de radiación y a diferentes longitudes de onda del espectro de luz. Los pigmentos vegetales involucrados en la fotosíntesis son las antocianinas (azul, roja y púrpura), los carotenoides (naranjas y amarillos) que absorben 450-500 nm (azul y verde) y pueden cambiar energía con la clorofila para ayudar en la fotosíntesis; los fitocromos que absorben la luz roja (660 nm) y la luz roja extrema (730 nm) siendo responsables por la foto morfogénesis y por las respuestas de fotoperiodismo.
Las hojas absorben eficazmente la luz en las longitudes de onda de las regiones del azul (400–500 nm) y rojo (500–600 nm) del espectro de radiación solar (Caldari, 2007).

- **Fitocromos.**

La radiación roja posee una componente de acción sobre el sistema fotosintético (como fuente de energía) y otra sobre el sistema de control del programa genético de desarrollo y el de modulación y adaptación fisiológica (como fuente de información).
Para el caso de la morfogénesis la respuesta de las plantas a la radiación en la banda espectral rojo/rojo-lejano (RRL: *circa* 640-700 nm/710-780 nm) se encuentra mediada por una familia de foto receptores proteicos llamados fitocromos que existen en dos formas foto convertibles, la Pr con un máximo de absorción en el rojo y la Pfr que absorbe en el rojo lejano *In vivo* los fitocromos se sintetizan en la forma Pr la cual se trasforma en Pfr al absorber radiación roja, mientras que la absorción de rojo lejano retorna Pfr a Pr. Este cambio reversible es el primer paso en la transducción de las señales de radiación RRL e involucra cambios conformacionales reversibles en el cromóforo y en la estructura tridimensional de la proteína. Es probable que estos cambios sean amplificados posteriormente por la acción de otros transductores, como

las proteínas-G, que regulan los niveles de quinasas o calmodulinas, y que dan lugar a la expresión de ciertos programas de desarrollo.

Se sabe que existen múltiples respuestas mediadas por el fitocromo, una lista muy grande de procesos fisiológicos y de actividades de enzimas específicas que son controlados por la radiación en la banda del rojo/rojo-lejano. Entre otras se tienen: germinación de semillas, etiolación, inducción y desarrollo floral, desarrollo de cloroplastos y control de enzimas como Rubisco, nitrato reductasa, peroxidasa, etc.

Las respuestas de las plantas a la radiación en la banda del rojo/rojo-lejano son básicamente de dos clases: morfo genéticas (adaptación a largo plazo) y de modulación (cambios instantáneos para sobrellevar cambios repentinos en el ambiente) (Benavides y Ramírez 2002).

- **Clorofila.**

Los pigmentos clorofílicos son con toda seguridad el pigmento biológico mas abundante en la tierra y debe su color verde a su capacidad de absorber las facciones rojas y azul de la luz solar, transmitiendo los demás colores cuya mezcla apreciamos en diversos tonos de verde. Las hojas pueden llegar a contener hasta 1 g de clorofila m^{-2}, aunque esta concentración es muy variable entre especies y sobre todo depende, entre otros factores del estado nutricional, la edad o la historia lumínica previa de la planta (Manrique, 2003).

Los pigmentos que están en las membranas tilacoidales consisten principalmente en dos tipos de clorofilas verdes, la clorofila a y la clorofila b. También aparecen pigmentos amarillo-naranja que se clasifican como carotenoides (Salisbury y Ross, 2000).

- **Carotenoides.**

Los carotenoides, denominación con la que se reúnen a los carotenos y las xantofilas, son derivados tetraterpenicos que presentan dobles enlaces conjugados y un anillo ciclo hexano sustituido insaturado en cada extremo de la cadena lineal. Son sustancias solubles en solventes orgánicos, de color anaranjado con un máximo de absorción a 530 nm. Estos compuestos presentan en las plantas una función doble, como pigmentos en la captación de energía lumínica y como moléculas capaces de disipar energía de excitación excedente en forma de calor evitando daños importantes (Manrique, 2003).

En las plantas los carotenoides se encuentran ubicados en los tilacoides de los cloroplastos. Son pigmentos accesorios en la fotosíntesis, que captan energía luminosa

en regiones del espectro donde la clorofila no absorbe eficientemente, además protegen a la clorofila de la luz intensa que puede dañarla (Berg *et al.*, 2002).

- **Cromóforos.**

Para que la radiación UV-B sea interceptada y produzca alteraciones en la fisiología de la planta debe penetrar en la hoja y ser absorbida por cromóforos o moléculas susceptibles al efecto dañino de esta radiación. Por lo tanto, los cambios morfológicos y anatómicos que son inducidos por la radiación UV-B pueden llegar a ser determinantes en las respuestas de las distintas especies vegetales sometidas a un aumento de este tipo de radiación. Así, frente a un aumento de la radiación UV-B muchos de los cambios observados, tanto en plantas monocotiledóneas como dicotiledóneas, son principalmente atribuidos a la orientación de las hojas que tiene cada uno de estos grupos de plantas, lo que finalmente influirá en la capacidad de interceptar este tipo de radiación. Las especies monocotiledóneas que presentan hojas delgadas con orientación vertical interceptan menos la radiación UV-B que las dicotiledóneas por presentar éstas hojas anchas y de orientación más bien horizontal, y por lo tanto son más susceptibles al daño (Carrasco, 2009).

- **Criptocromos.**

Para Salisbury y Ross (1994), son un grupo de pigmentos similares y no identificados que absorben longitudes de onda del azul y ultravioleta de onda larga (región UV-A, 320 a 400 nm), y debe su nombre a su especial importancia en las plantas criptógamas.

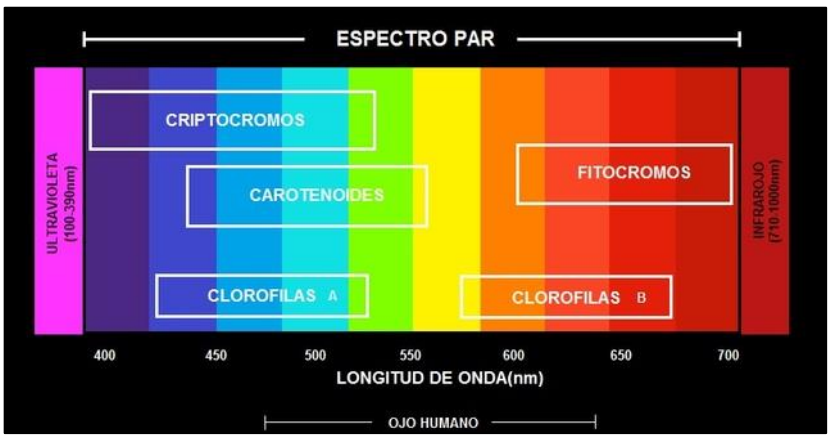

Figura 10. Espectro PAR y longitud a la que actúan los sensores de las plantas (Olmos, 2004)

2.8.7 Concentración de Dióxido de Carbono (CO_2)

La actual concentración atmosférica de dióxido de carbono es infra óptima para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Los resultados experimentales indican que el nivel atmosférico de CO_2 se sitúa en la zona no saturada de la relación que existe entre la asimilación neta y la concentración de CO_2. Lo que explica la respuesta positiva en la tasa de asimilación neta y en la producción que se viene obteniendo en la mayor parte de los estudios de incorporación de abono carbónico realizado en plantas C_3 (Lorenzo, 2000).

En las 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:

1. La fase fotoquímica que conduce a la formación de ATP y NADPH.
2. La fase bioquímica, en la que el ATP y el NADPH son utilizados para fijar el CO_2 atmosférico y reducirlo para sintetizar carbohidratos (CH_2O_n). Se trata de un conjunto de reacciones que se denominan: reacciones del carbono o metabolismo del carbono en la fotosíntesis (Pérez y Carril, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del Área del Experimento

La investigación de esta tesis se realizó durante el ciclo primavera–verano del año 2012 en tres invernaderos de mediana tecnología en el rancho “Las Motas” perteneciente al municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, ubicado en un costado de la carretera antigua Saltillo-Monclova.

Ubicado bajo las siguientes coordenadas: 25º71’ latitud N, 101º13’ longitud W, con una altitud de 1083 msnm.

3.2 Clima

Con base a la clasificación climática de Koeppen y modificada por García (1987) el clima de Ramos Arizpe corresponde a un seco estepario, con formula climática de: BSoK (x’) (e’).

Donde las variables de la formula BSoK (x’) (e’) son:

BSo: Seco (árido y semiárido).

K: Templado con verano cálido, presentando una temperatura media anual de 17°C y 20°C.

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

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

Esta región por su altura, tiene meses libres de heladas que son: Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, ya que las heladas pueden presentarse de Octubre a Abril, siendo los meses mas frecuentes en Diciembre y Enero, con temperaturas entre los 0°C y los -2°C, como normales.

En promedio las temperaturas medias oscilan entre los 17°C y 20°C. Las extremas máximas más frecuentes son de hasta 42ºC.

En promedio las lluvias anuales de la región van desde poco más de 210 mm anuales en el municipio de Ramos Arizpe. En esta región las lluvias pueden presentarse todo el año, con mayor cantidad en el verano, siendo Septiembre el mes más lluvioso, observándose cierta relación con la presencia de huracanes en el Atlántico (García, 1987).

3.3 Descripción de las Cubiertas de Invernadero y Malla Sombra

Se evaluaron tres invernaderos con diferentes materiales plásticos de recubrimiento:

T1= CIQA: Invernadero con una película plástica de polietileno de baja densidad formulada en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) con propiedad de difusión de luz, controlando la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y con propiedad refrescante.

T2= Película Comercial: Invernadero con una película plástica convencional elaborada de polietileno de baja densidad, con alta transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y poca difusión.

T3= Malla Sombra: Malla tejida tipo raschel (anudada) de cinta de polietileno color negro, con un 35% de sombreo, esta es utilizada por el productor del rancho para la producción de hortalizas en general.

Los invernaderos fueron de tipo túnel con una longitud de 23 m y de 6 m de ancho con una altura de 4.5 m, con una orientación de norte a sur, los cuales contaban con ventilación cenital y ventilación lateral por medio de cortinas manuales, todas las ventilas estaban cubiertas con mallas antiáfidos, estos contaban con películas de polietileno de baja densidad respectivamente cubiertos cada uno con la película comercial y la película elaborada en CIQA. El tercer invernadero donde estaba la malla raschel como cubierta no tenia ventanas ya que el flujo del aire era continuo por el tipo de malla utilizado por el agricultor, este tenia las mismas dimensiones estructurales que los invernaderos.

3.4 Caracterización Inicial de las Cubiertas de Invernadero

3.4.1 Pruebas Ópticas y Físico-Mecánicas

El prototipo seleccionado y el testigo comercial para la validación en los invernaderos del agricultor cooperante se fabricaron en la Planta de Industrias de Culiacán ubicada en Culiacán, Sinaloa. De los rollos fabricados se tomaron muestras para realizar la caracterización inicial en el campo experimental del CIQA, así como a la malla sombra proporcionada por el agricultor donde se desarrollo el trabajo de investigación

El análisis físico-mecánico y trasmisiones de Radiaciones infrarrojas lejanas y cercanas (LIR y NIR) de las películas evaluadas se hicieron en laboratorios del CIQA, utilizando muestras representativas de cada película.

La trasmisión de LIR y NIR se realizaron por medio de espectroscopia en el laboratorio de Caracterización Química.

Las pruebas físico-mecánicas de las películas de polietileno se realizaron en el Laboratorio de Ensayos Físico-Mecánicos del CIQA y se hicieron los siguientes: tensión-elongación, rasgado, caída de dardo y envejecimiento acelerado, esto para verificar que aprobaran las pruebas ASTM y UNE para películas plásticas de polietileno y películas para invernadero.

3.4.2 Caracterización Ópticas en Campo en Microtúneles

Las características ópticas de las Películas y Malla Sombra determinadas en campo fueron:

- Trasmisión de Radiación UV (UV A y B)
- Trasmisión de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)
- Trasmisión de Radiación Total
- Porciento de Radiación Difusa (en el rango visible)

Para realizar éstas evaluaciones se colocaron las muestras de las películas y malla sombra en microtúneles y dentro de los micro túneles se colocaron los sensores de radiación UV, pyranometros para medir radiación total, ambos marca Apogge y para medir radiación fotosintética y difusa se utilizaron sensores Sunshine marca Delta T Device, todos los sensores se conectaron a un data logger DL2 de Delta T Device, el cual fue programado para tomar lecturas cada 10 minutos y sacar la media de cada hora durante las 24 horas, considerando la evaluación en días totalmente despejados. La información almacenada en el Data Logger se recuperaba periódicamente con una computadora portátil en el mismo campo.

Antes de iniciar las evaluaciones en los microtúneles, los sensores fueron calibrados para asegurar la correcta medición de las radiaciones.

Figura 11. Caracterización óptica en campo de las cubiertas

3.5 Medición de Radiación PAR, Temperatura, Humedad Relativa y Obtención de Déficit de Presión de Vapor (DPV) en los Invernaderos con la Película CIQA, Comercial y Malla Sombra

Cuando se inició la evaluación agronómica de las películas y malla sombra se determinaron las variables micro ambientales a medir, estas fueron las más importantes que intervienen directamente en la respuesta fisiológica y de productividad del cultivo y fueron las que a continuación se desglosan:

- **Radiación PAR.**

Esta fue determinada por medio de sensores (LI-COR, modelo QUANTUM) los cuales almacenaban la información en un data logger (LI-COR, modelo LI-1000), midiendo cada minuto y almacenando la media de cada hora, la información almacenada se recuperaba cada 15 días por medio de una computadora portátil en el mismo campo.

- **Temperatura y Humedad Relativa.**

Estas dos variables dentro del invernadero fueron determinadas por medio de sensores (HOBO, modelo Pro V2) los cuales tomaban datos cada 10 minutos.

Los Datos fueron descargados del data logger a una computadora portátil para poder ser procesados y posteriormente analizados.

Figura 12. Sensor HOBO para tomar Temperatura y Humedad Relativa

- **DPV.**

El Déficit de Presión de Vapor (DPV) se estimó por medio de la siguiente ecuación (Rosenberg, 1983; Arellano, *et al*., 2006):

$$DPV = 0.61078 \exp\left(\frac{17.269 * Ta}{Ta + 237.3}\right) * \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

Donde:

DPV: Déficit de Presión de Vapor.

T_a: Temperatura del aire (ºC).

HR: Humedad relativa (%).

Esta variable fue obtenida procesando los datos de temperatura y humedad relativa descargada de los sensores.

3.6 Construcción de las Estructuras de los Invernaderos

Se comenzó por instalar los soportes estructurales de los invernaderos a una profundidad de 0.70 m, para posteriormente montar los arcos del techo sobre estos.

Después se instalaron los travesaños de la estructura para que estuviera rígida, sobre los travesaños y los soportes de esquina se colocaron cerchas de acero galvanizado para poder sujetar la malla antiafido y la película de polietileno de baja densidad con sujetador tipo “zig-zag”.

Primero se comenzó por instalar la malla antiafido, ya que esta se instala con mayor facilidad por la altura; la película de invernadero se instaló con el apoyo de andamios

por la altura, también a los invernaderos se les construyó una caseta de fitosanidad con doble puerta para la seguridad fitosanitaria del cultivo.

La longitud de las tres estructuras construidas fueron de 23 m por 6 m de ancho, con una altura de 4.5 m., cubriendo una superficie total por estructura de 138 m^2 y una superficie total entre las tres estructuras de 414 m^2.

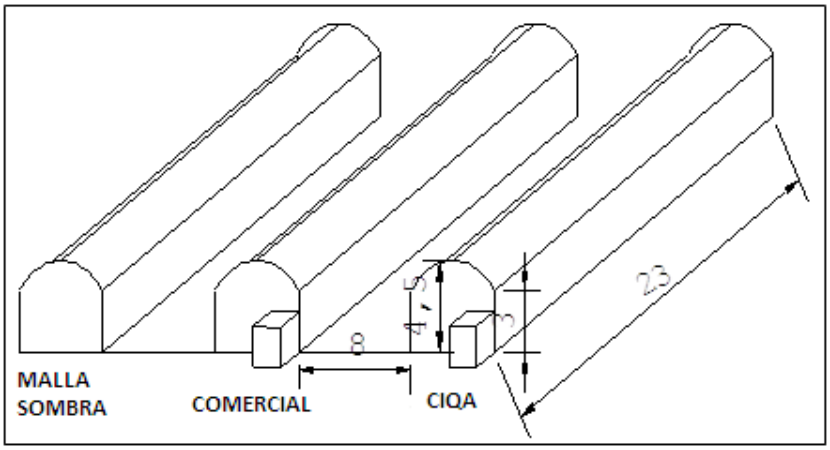

Figura 13. Dimensionamiento y medidas (metros) de los invernaderos en el área del experimento

Figura 14. Construcción de invernaderos, soportes estructurales y arcos del techo

Figura 15. Instalación se malla antiafido y película de polietileno de baja densidad para invernadero

Figura 16. Invernaderos y malla sombra terminados

3.7 Germinación de Plántula

3.7.1 Desinfección de Charola

Se utilizaron cinco charolas de poliestireno con 200 cavidades, las cual fueron desinfectadas con cloro a una concentración de 10% con respecto a un disolución en 200 l de agua y posteriormente enjuagada con agua, esto con el fin de eliminar residuos de suciedad en la charola y eliminar materia orgánica que pudieran tener estas para que esto no pudiera alterar los resultados del experimento y garantizar una emergencia óptima del material genético.

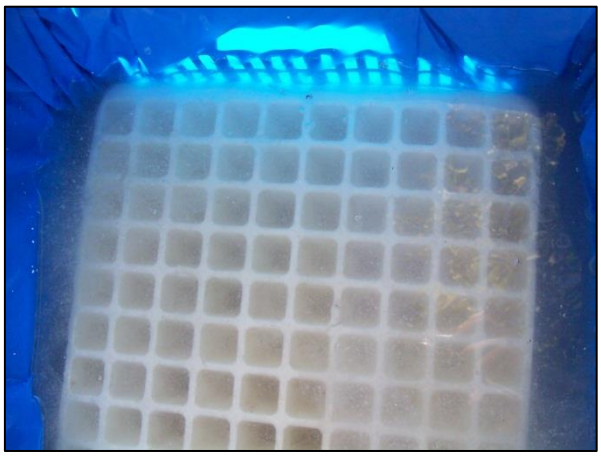

Figura 17. Desinfección de charola sumergiéndola en agua con cloro

3.7.2 Material Genético para Trasplante

Se utilizó semilla de tomate cherry tipo uva, híbrido "Sweet Hearts" de la empresa SAKATA, de crecimiento indeterminado, planta de vigor medio, altamente productiva. En México se está convirtiendo en la variedad número uno de tomate tipo uva para cultivo protegido. Recomendado para cultivos en Malla Sombra y/o invernadero, en donde expresa su mayor potencial de calidad y rendimiento. Sus frutos tienen el tamaño y sabor ideal para el mercado. Los frutos pesan de 8 a 14 gramos. Y sus contenidos de grados Brix oscilan de 8° a 10°, dándole un sabor y dulzura muy apreciada en el mercado. (SAKATA. Inc.).

3.7.3 Siembra de Semilla

Para la germinación de la semilla se utilizó sustrato de germinación peat moss (sunshine, mezcla 3, fina especial) que se colocó en las charolas llenando las cavidades, compactándose ligeramente, posteriormente se agregó una semilla por cavidad y se tapó nuevamente con sustrato con una capa fina de este para propiciar la emergencia óptima de la plántula.

Las charolas con las plántulas fueron colocadas en un invernadero totalmente desinfectado, para el control fitosanitario de la plántula.

Ya listas las charolas se estibaron y cubrieron con plástico negro de acolchado para propiciar la germinación y mantener un ambiente húmedo.

Estas se revisaban diariamente para ver la emergencia, al inicio de la emergencia se desestibaron e inició el riego, la fertilización y el control fitosanitario, esto con el fin de cuidarlas y tenerlas listas para un trasplante exitoso.

Figura 18. Siembra de semilla de tomate cherry tipo uva en charola de poliestireno

3.8 Preparación del Terreno en los Invernaderos

La preparación del terreno de los invernaderos se llevo a cabo por medio de maquinaria agrícola, barbechando el terreno y dando dos pasos de arado con disco para minimizar el tamaño de los agregados, así como para voltear el suelo y propiciar la aireación de este.

Posteriormente se aplicó gallinaza como materia orgánica en el suelo interior del invernadero y se esparció e incorporó con el suelo de forma manual con azadones.

Figura 19. Instalación de acolchado al interior de invernadero

3.9 Instalación de Sistema de Riego, Acolchado y Grow Cover

Se hicieron 3 camas en cada invernadero de forma manual con dimensiones de 0.60 m de ancho, 21 m de largo y 1.6 m de separación entre estas, así como 1 m de separación entre las paredes laterales y frontales. Se instalaron 2 cintas de riego por goteo en la parte superior de cada cama con separación entre goteros de 0.30 m y con un gasto de 38 l/h/gotero con un presión de 8-10 psi para tener buena uniformidad en el riego.

Después se instaló el acolchado, que era de tipo co extruido blanco/negro con la parte blanca hacia arriba para evitar el sobrecalentamiento del suelo.

Por ultimo se instalo grow cover blanco entre las camas así como en el perímetro interno del invernadero sujetado con grapas, esto para evitar el crecimiento de malezas, y poder mantener con mas limpieza en interior de los invernaderos y limpiar con mas facilidad los invernaderos.

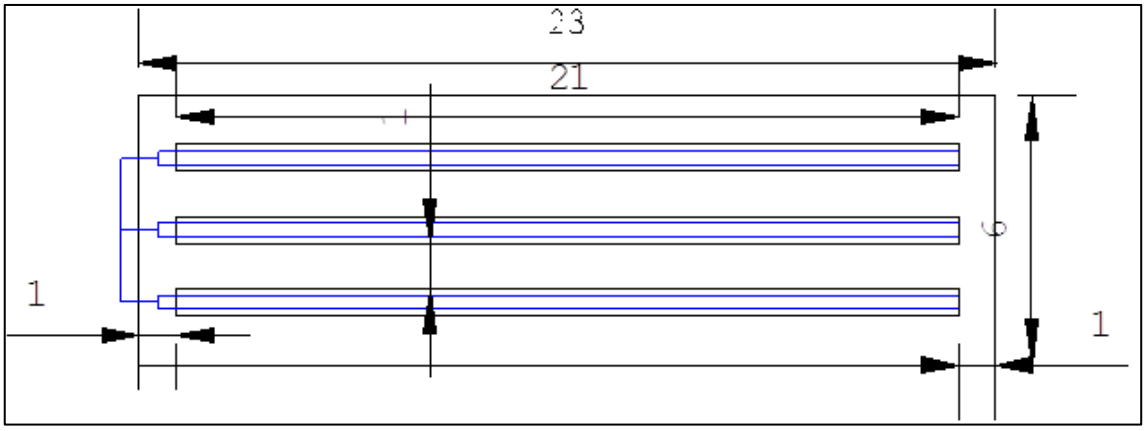

Figura 20. Dimensiones (metros) interior de invernadero y acomodo de camas en el interior de este (Vista superior)

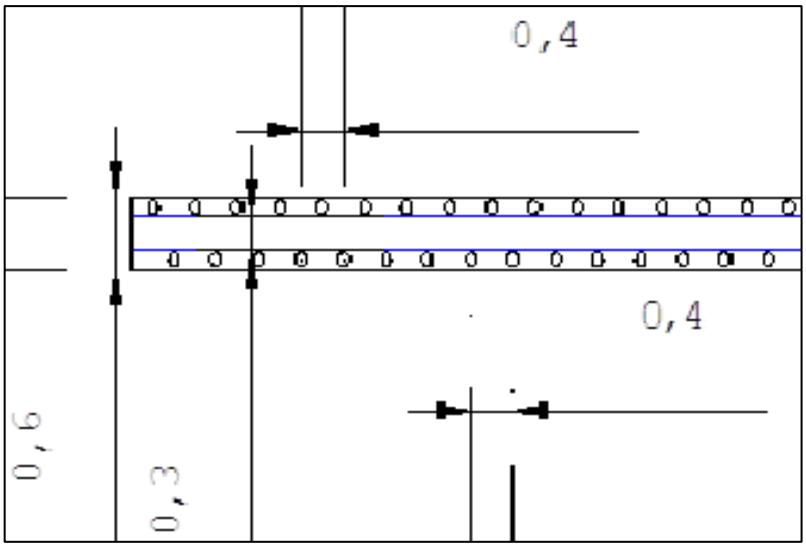

Figura 21. Dimensionamiento (metros) de la cama de acolchado (Vista superior)

3.10 Instalación de Tensores para Tutorear

Estos eran en forma de "T", se instalaron en los extremos de cada cama acolchada, a una profundidad de 0.50 m y contaban con 2 cables acerados en donde fueron montados los ganchos tutores con 7 m de rafia, estos para guiar a la planta. Los tensores para guiado tenían una altura de 3 m.

3.11 Desinfección de suelo

Este se desinfectó con Pentaclor 600F, con una cantidad de 0.6 l/ 1000 l. Este agroquímico de amplio espectro, se aplicó antes del trasplante para asegurar el saneamiento del suelo.

3.12 Trasplante

El trasplante se realizo el día 4 junio del periodo primavera-verano del año 2012, con un acomodo en tresbolillo a una separación de 0.40 m entre planta, teniendo así una densidad de 312 plantas por invernadero y en la Malla Sombra, esta densidad dio 936 plantas en los tres invernaderos. Antes del trasplante se dio un riego pesado para

asegurar que la planta tuviera un ambiente húmedo propicio para su “amarre” en el suelo acolchado.

3.13 Manejo Agronómico del Cultivo

- **Tutoreo.**

A cada planta se le asigno un gancho con 7 m de rafia, esta se podaba a un solo tallo y posteriormente se enredaba en la rafia para irse guiando hacia arriba, esto con la finalidad de incrementar la calidad de la producción, que las plantas acumulen menos humedad en el follaje para disminuir el riesgo de enfermedades fungosas, facilitar la aplicación de agroquímicos y facilitar la cosecha del producto.

Figura 22. Plantas tutoradas

- **Poda.**

Esta se llevaba a cabo cada dos días quitando brotes axilares para manejar el cultivo a un solo tallo, así como quitar hojas debajo de los racimos a cosechar para orientar a la planta a un crecimiento óptimo y enfocado a la productividad.

- **Fitosanidad.**

Se aplicaron preventivamente después de cada poda para evitar enfermedades, se aplicó benomilo (25 g/15 l) e hidróxido cúprico (175 ml/15 l), así como posterior a cada lluvia, esto con el fin de evitar enfermedades fungosas por humedad alta en los diferentes ambientes de los invernaderos.

Se presentó mosca blanca en el cultivo de los invernaderos, esta se controló con aplicación de Gyro (30 ml/15 l), agua con jabón (0.5 g/1 l). La plaga se redujo significativamente con la aplicación de las sustancias anteriormente mencionadas, pero se terminó con la plaga al aplicarse agua con azúcar y jabón.

- **Riego.**

Se llevo a cabo el control del riego con tensiómetros Irrometer de 0.30 m y 0.60 m de profundidad en la cama central y en el centro de esta de cada invernadero y de la Malla Sombra, llevándose una bitácora diaria de revisión; el riego se daba antes de que los tensiómetros sobrepasaran los 30 Centibares.

Figura 23. Tensiómetros ubicados en el centro del invernadero

Cuadro 2. Gasto de agua por invernadero/h

Calculo de gasto de agua por invernadero	
Separación de goteros (m)	0.30
Gasto por gotero (l/h)	38.0
largo de cintilla (m)	21.0
Numero de cintillas por invernadero	6.0
Goteros por cinta	70
Cintas por cama	2.0
Camas en invernadero	3.0
Gasto total agua por invernadero (l/hr)	15960
Horas de riego (h)	2.0
Gasto de agua (l/h.)	31920
Gasto de agua (m^3)	31.92

Cuadro 3. Gasto de agua/invernadero/ciclo

Calculo de gasto de agua por invernadero en el experimento	
Gasto de agua (l/h.)	31920
Gasto de agua (m^3)	31.92
Frecuencia de riego (días)	3
Días de experimento	138
Riegos totales en experimento	46
Gasto total de agua en experimento (l/h.)	1468320
Gasto de agua total en experimento (m^3)	1468.32

- **Fertilización.**

La fertilización se llevaba a cabo cada que se aplicaba un riego, esto en las etapas de floración, llenado de fruto y cosecha. Estos riegos constaban de macronutrientes, ácidos y micronutrientes, la fertilización se monitoreaba por medio de chupa tubos instalados a 0.30 m y 0.60 m de profundidad del suelo, esto para ver la interacción de la fertilización con el agua y el suelo y así poder monitorear su pH y conductividad eléctrica, esto con el fin de poder cambiar la fertilización si fuera necesario.

Cuadro 4. Fertilización llevada a cabo en la etapa de plántula

Cuadro de fertilización para plántula de Tomate Cherry tipo Uva.				
Etapa	Fertilizante	Fórmula	g/1000 l	Elemento
Plántula	Nitrato de calcio	$Ca\ (NO_3)_2$	295.1	Ca
				N
				O
	Nitrato de potasio	KNO_3	404.4	K
				N
				O
	Fosfato mono Potásico	KH_2PO_4	102.1	K
				H
				P
				O
	Acido	Fórmula	ml/1000 L	Elemento
	Acido nítrico	HNO_3	180	H
				N
				O
	Acido sulfúrico	H_2SO_4	175	H
				S
				O

Cuadro 5. Fertilización llevada a cabo mediante las etapas de floración, cuajado y cosecha

Cuadro de fertilización para Tomate cherry tipo uva a partir de floración y aplicado a cada riego sin interrupciones.				
Etapa	Fertilizante	Fórmula	gr/1000 l	Elemento
FLORACION, CUAJADO Y COSECHA	Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	1181	Ca
				N
				O
	Nitrato de potasio	KNO_3	708	K
				N
				O
	Fosfato mono potásico	KH_2PO_4	272	K
				H
				P
				O
	sulfato de potasio	K_2SO_4	697	K
				S
				O
	Acido	Fórmula	ml/1000 l	Elemento
	Acido nítrico	HNO_3	45	H
				N
				O
	Acido sulfúrico	H_2SO_4	282	H
				S
				O
	Micro nutrientes		10	

3.14 Cosecha de Tomate

Estas se llevaban a cabo tres veces por semana en los invernaderos y Malla Sombra respectivamente de forma manual, en esta etapa la producción se separaba por tratamiento y repeticiones, para posteriormente ser pesado. En el experimento se llevaron a cabo 11 cosechas. En las cosechas se evaluó también calidad de producción, se realizaron tres evaluaciones de calidad, al inicio, medio y final, a los frutos se les evaluó diámetro polar, diámetro ecuatorial medido con un vernier digital marca Truper y se sacó el peso promedio por fruto.

Figura 24. Tomate cherry tipo uva, listo para cosecharse

3.15 Análisis de la Información

Todos los datos de radiación PAR se agruparon por día para posteriormente obtener los promedios por hora en los horarios de 6:00 A.M. cuando empieza la radiación hasta las 9:00 P.M. cuando se termina, así con los mismos horarios se obtuvieron los promedios de humedad relativa y temperatura.

Estos datos se acomodaron y promediaron cada hora por quincena, empezando el día 15 de Junio del año 2012 y terminando el día 30 de Octubre de ese mismo año. Con estos datos acomodados por tratamiento se obtuvieron las medias del día y la media máxima (de 13:00 P.M. a 3:00 P.M.), así como las mismas medias para cada quincena. Esto para identificar el día con más radiación, temperatura, humedad relativa por mes y quincena.

Con los datos analizados de temperatura y humedad relativa se procedió a obtener el déficit de presión de vapor para posteriormente ser analizados y obtener la media por día y la media máxima del día e identificar el día con mayor déficit de presión de vapor así como los datos por quincena.

Con los datos analizados por periodos de quincena se obtuvieron la media de la quincena, la media máxima de la quincena (de 13:00 P.M. a 3:00 P.M.), así como una media de las horas de mayor estabilidad radiativa (de 10:00 A.M. a 5:00 P.M.).

Con esto datos se obtuvieron graficas por quincena de las variables antes mencionadas (radiación, temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor).

Con los datos ordenados se realizó el análisis estadístico (análisis de varianza), utilizando un análisis General Lineal, auxiliado por el paquete estadístico SPSS Statistic, con el siguiente acomodo:

- 5 periodos (Meses).
- 4 Tratamientos (Películas CIQA, Convencional, Malla Sombra y Exterior).
- 10 Repeticiones (10 días con la misma fecha en los cuatro meses de Radiación, temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor).
- 4 Variables (radiación, temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor
- 3 intervalos de tiempo: media del día (6 A.M. a 9 P.M.), media máxima (13 P.M a 15 P.M) y media con mayor estabilidad radiativa (10 A.M. a 5 P.M.).

Posteriormente se hizo un análisis de correlación en los días con más temperatura para relacionar la radiación contra temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor en los diferentes microclimas creados en los cuatro tratamientos, y así obtener la R^2 (Coeficiente de determinación), esto para ver como es que las diferentes películas modificaron los microclimas de los invernaderos.

Por último con la media de las 10 A.M a las 17 P.M. se obtuvieron los diferenciales térmicos, los diferenciales de radiación, diferencial de humedad relativa y el diferencial de déficit de presión de vapor en los invernaderos con respecto al exterior.

Para los análisis de varianza de rendimientos y calidad se consideraron 10 repeticiones de cada tratamiento y del acumulado de la producción.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización Inicial de la Cubiertas

4.1.1 Resultados Propiedades Ópticas Realizadas en Laboratorio y Campo

Los resultados de la caracterización óptica inicial de las películas en validación y de la malla utilizada por el agricultor se muestran a continuación, se presentan primero las propiedades realizadas en laboratorio y enseguida las pruebas realizadas en campo.

4.1.2 Trasmisión de Radiación Infrarrojo Cercana (NIR)

La evaluación del NIR se realizó en un espectrofotómetro FTIR Nicolet Nexus 470 en un rango de longitud de onda de 900 a 3000 nanómetros y espectros obtenidos con 32 barridos a 4 cm^{-1} de resolución. Con las lecturas del equipo se realizaron los cálculos del área bajo la curva para determinar el porciento de trasmitancia de las diferentes películas a este rango de radiación, no se evaluó esta propiedad en la Malla Sombra Comercial.

Los resultados muestran (Figura 25) que la película con menor trasmitancia al NIR fue la película CIQA con 20.8% y con mayor trasmitancia se observa la película Comercial con 79.0%. Cuando se bloquea la trasmitancia de las películas a la radiación infrarrojo cercana (NIR) los invernaderos se calientan menos, modulando más el clima interior. Si la temperatura interior del invernadero disminuye, la humedad relativa (HR) aumenta y la combinación de ambos factores modifica el déficit de presión de vapor (DVP) en el ambiente, permitiendo a las plantas trabajar en mejores condiciones, incrementándose la fotosíntesis e influyendo positivamente en la productividad del cultivo. Es importante por lo tanto lograr que el calentamiento de los invernaderos no sobrepase los límites óptimos para el desarrollo del cultivo.

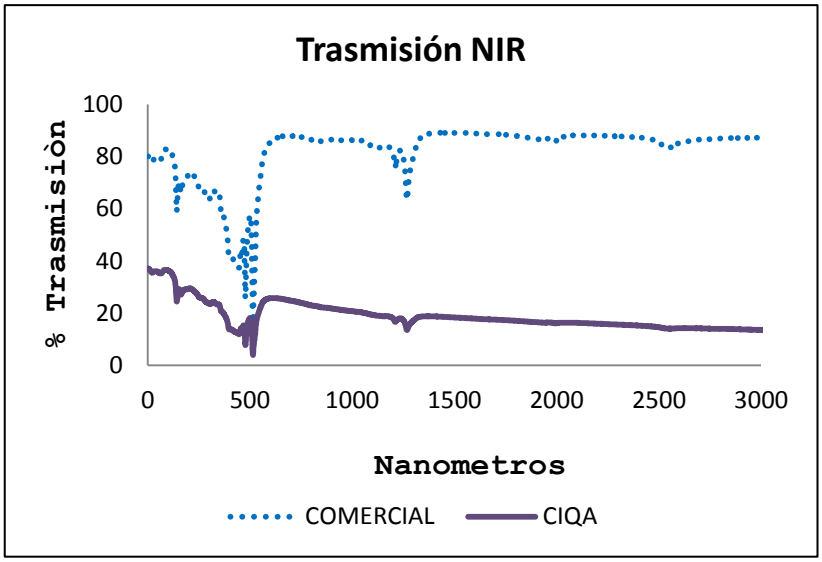

Figura 25. Transmitancia de la radiación infrarrojo cercano permitido por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.1.3 Trasmisión de Radiación Infrarrojo Lejana (LIR)

La evaluación del LIR se realizó en un espectrofotómetro FTIR Nicolet Nexus 470 en un rango de longitud de onda de 7000 a 14000 nanómetros y espectros obtenidos con 32 barridos a $4cm^{-1}$ de resolución. Con las lecturas del equipo se realizaron los cálculos del área bajo la curva para determinar el porciento de trasmitancia de las diferentes películas a este rango de radiación, no se evaluó esta propiedad en la Malla sombra Comercial.

Los resultados muestran (Figura 26) que la película con menor trasmitancia a la radiación infrarrojo lejano fue la CIQA con 30.7% y con mayor trasmitancia se observa la película Comercial con 51.2%. Según la norma UNE para que una película para invernadero se considere como térmica, esta debe de trasmitir menos de 30 % de la radiación infrarrojo larga, bajo este criterio solo la película CIQA se consideraría como térmica, ya que tiene menos de 30 % de trasmitancia al LIR.

Las películas para invernadero con características térmicas son de uso importante en regiones de climas templados y fríos, ya que permiten conservan el calor acumulado durante el día por más tiempo durante la noche, evitando el enfriamiento rápido de los invernaderos y las inversiones térmicas y puede ser la diferencia entre que los cultivos se dañen por heladas o no. Para las regiones calientes, donde nunca tienen temperaturas

tan frías que puedan causar daños por helada en los cultivos la termicidad en las películas para invernadero es una característica que no es necesaria.

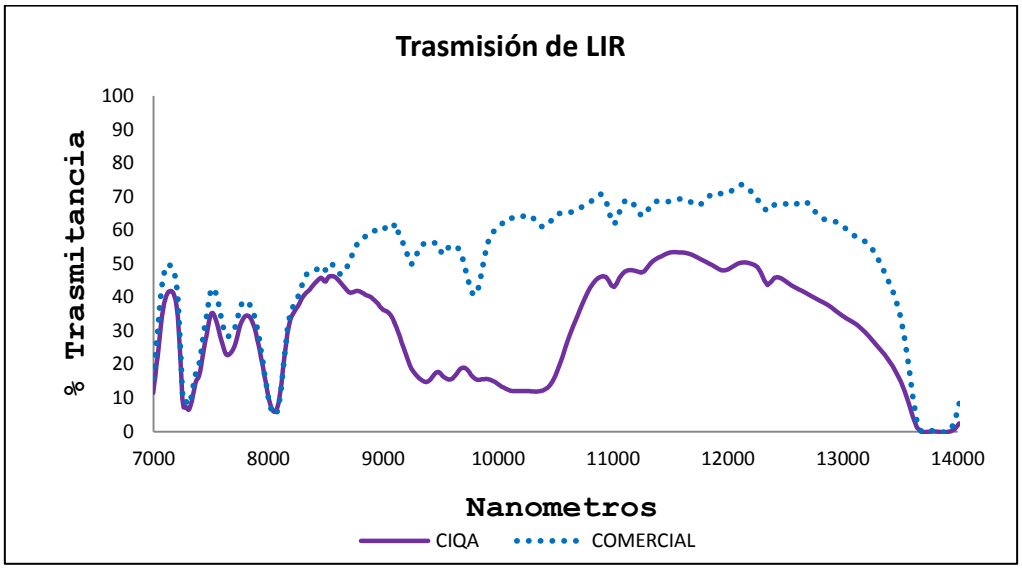

Figura 26. Transmitancia de la Radiación infrarrojo lejano permitido por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.1.4 Trasmisión de Radiación UV (UV A-B)

La trasmitancia de las películas a la radiación UV y los espectros se determinaron en un Espectrofotómetro UV/VIS Shimadzu con arreglo de fotodiodos en rango de 200 a 400 nm. Los resultados muestran (Figura 27) que la menor trasmitancia tanto al UV-B como UV-A lo presenta la película CIQA, prácticamente son cero de trasmitancia. En lo que respecta a la película testigo Comercial la trasmitancia en el rango del UV-B es de alrededor de 10%. Mientras que en el rango del UV-A de 320 a 360 nm de alrededor del 8 a 9%, y en el rango del UV-A de 370 a 400 nm trasmite hasta mas de 40%.

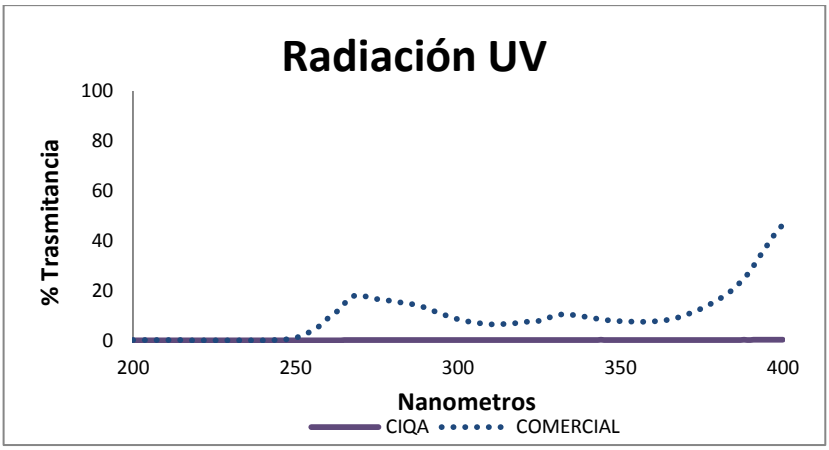

Figura 27. Transmitancia de la radiación UV permitida por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.2 Propiedades Físico-Mecánicas

Las propiedades físico-mecánicas en las películas de invernadero tienen también una gran importancia, ya que de estas propiedades depende la resistencia a la instalación, manipulación de las películas, resistencia a granizadas, nevadas, impactos, resistencia a agroquímicos y resistencia a la degradación por radiación UV. En la formulación de la película de invernadero, además de las propiedades ópticas se deben de considerar estas propiedades físico-mecánicas, que además están establecidas en una norma Mexicana y una norma internacional (Norma UNE-EN 13206 y Norma Mexicana NMX-E-114-CNCP-2006 para películas plásticas de uso en invernadero). Las principales propiedades físico-mecánicas que se evalúan son las siguientes:

- Resistencia a la Tensión (dirección trasversal y máquina)
- Resistencia a Elongación (dirección trasversal y máquina)
- Resistencia al rasgado Elmendorf
- Resistencia a la punción
- Resistencia al Impacto por caída de dardo

Los resultados de las propiedades físico-mecánicas de las películas se muestran en el Cuadro 6. No se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de la malla por ser material muy diferente a las películas de invernadero y no existe punto de comparación.

En las dos películas las propiedades físico-mecánicas están por arriba de lo establecido en las normas para películas de invernadero, Sin embargo aunque los valores para todas

las propiedades cumplen con la norma establecida, en varias de las propiedades evaluadas la película Comercial tiene valores más altos que la película CIQA lo que le puede indicar mayor resistencia en la película comercial.

Cuadro 6. Comparación de las propiedades físico-mecánicas de las películas evaluadas

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS									
PELICULA	TENSION		ELONGACION		RASGADO		IMPACTO	PUNCION	
	Resistencia a la tensión MPa ≥ 16 Norma Térmica Difusa (UNE-EN 13206)		**Elongación de ruptura Norma Térmica Difusa (UNE-EN 13206) (% ≥ 400) NMX 2006 ASTM-D 882-10 (% ≥ 600)**		**Resistencia al rasgado Elmendorf (N) Norma ASTM D-1922-05**		**Resistencia al impacto caída de dardo (54 g) Norma ASTM-D 1709-09**	**Resistencia a la punción películas y láminas flexibles ASTM-F 1306-09**	
	DM	**DT**	**DM**	**DT**	**DM N (gf/mm)**	**DT N (gf/mm)**		**Fuerza Máxima N (kgf)**	**Fuerza Ruptura N (kgf)**
NMX-E-114	**16.67 MPa**	**16.67 MPa**	**600**	**600**	**9 (5031)**	**9 (5031)**	**250**		
COMERCIAL	**25.2**	**22.4**	**990**	**980**	**14.4 (8050)**	*** ***	**317**	**20.00 (2.04)**	**19.70 (2.01)**
CIQA	**17.3**	**23**	**620**	**940**	**11.2 (6242)**	*** ***	**359**	**21.3 (2.18)**	**20.4 (2.1)**

* Excede la capacidad del péndulo.

4.3 Envejecimiento Acelerado

A las dos películas evaluadas en el proyecto se les realizó una prueba de envejecimiento acelerado en cámaras UV bajo las siguientes condiciones:

8 horas de luz UV a una temperatura de 70 °C y 4 horas de condensación a una temperatura de 50 °C, de acuerdo al método "B" de la norma ASTM D-4329. Las lámparas utilizadas son del tipo UV-B 313 y la cámara utilizada es una QUV Panel.

La determinación de las propiedades mecánicas se efectuó en una maquina de tracción universal marca INSTRON, modelo 4301 y una celda de carga de 100 libras de capacidad. La velocidad de prueba es de 500 mm/minuto.

Los resultados de las pruebas físicas después de cada 500 horas de exposición en cámara se presentan en los Cuadros 7 y 8, y se observa que la pérdida de tensión de la película Comercial a las 500 horas de exposición fue de 10%, mientras que la de CIQA fue de 1%, a las 1000 horas de exposición, que representan aproximadamente 3 años de duración la pérdida de tensión en la película Comercial fue de 20% y en la de CIQA de 15% y a las 1500 horas de exposición fue de 50.7% en la comercial y 41.6% en la de CIQA.

En cuanto a la pérdida de elongación a las 500 hora de exposición ninguna de las dos películas tenía pérdida, a las 1000 horas la película comercial había perdido un 10% y la película CIQA un 2.3%, pero a las 1500 horas la película comercial ya había perdido el 95% de elongación, mientras que la película CIQA solo tenía una pérdida de 23%. Se considera que una película de invernadero ya está degradada cuando ha perdido un 50% de elongación con respecto a su valor inicial. Considerando estos resultados de envejecimiento acelerado, se considera que aunque la película Comercial perdió mas rápido sus propiedades físico-mecánicas las dos películas representan una duración de 3 años, lo cual es considerado como duración adecuada.

Cuadro 7. Seguimiento de la caída de Tensión de dos películas de invernadero expuestas a cámara de envejecimiento acelerado QUV

Película	Seguimiento de caída de Tensión (PSI) por envejecimiento acelerado UV				
	0	**500**	**1000**	**1500**	**2000**
CIQA	4035	4006	3433	2359	1997
COMERCIAL	4054	3626	3274	2001	2357

Cuadro 8 Seguimiento de la caída de Elongación de dos películas de invernadero expuestas a cámara de envejecimiento acelerado QUV

Película	Seguimiento de caída de Elongación (%) por envejecimiento acelerado UV				
	0	**500**	**1000**	**1500**	**2000**
CIQA	665	681	650	515	0
COMERCIAL	715	750	640	30	0

Los resultados de las propiedades físico-mecánicas indican mayor resistencia en la película Comercial, pero los resultados de envejecimiento acelerado muestran mayor duración en la película CIQA, esto es debido al tipo de cargas, pigmentos y aditivos UV utilizados en la formulación de cada película, lo importante sería saber cual de las dos condiciones son mas determinantes en la duración real en campo de las películas para ser posteriormente consideradas en futuras formulaciones.

4.4 Resultados de la Caracterización Óptica Inicial en Campo (CIQA)

Las evaluaciones de las propiedades ópticas en campo para la caracterización inicial de las películas y la malla se realizaron en pequeños mini-túneles cubiertos con las películas y malla a evaluar. En estos mini-túneles se instalaron los sensores de radiación fotosintética, radiación total, radiación UV y radiación difusa. Los diferentes sensores se conectaron a un Data Logger Delta T Device al que se le había cargado el programa para poder leer la información generada por los diferentes sensores y almacenarla para posteriormente ser recuperada para su análisis. Los sensores previamente antes de ser colocados dentro de los mini-túneles se calibraron y ya comprobada su calibración se ubicaron dentro de los mini-túneles.

4.4.1 Radiación UV

Los resultados de la caracterización inicial realizada en el campo en CIQA (Figura 28) muestran valores más altos de trasmisión de radiación UV que los obtenidos en la evaluación de laboratorio (Figura 27). La película comercial tiene hasta un 20 % de trasmisión de UV como máximo, mientras que las películas CIQA tienen 5% de trasmisión aproximadamente, en la malla la trasmisión de UV es mas alta que en las dos películas, aproximadamente un 50% con respecto a la recibida en el exterior. Las evaluaciones directas en campo son más reales ya que en laboratorio es solo un punto de evaluación en donde pasa el haz de luz y da el barrido en nanómetros, mientras que en campo en una mayor área de evaluación de película plástica con un sensor que integra la radiación UV-A+B y es la curva del día, por lo que se obtienen datos más reales para lo que en este estudio se necesita. Sin embargo aunque los valores en trasmisión de UV en las dos formas de evaluación son diferentes en sus valores, la tendencia de las películas se mantiene igual.

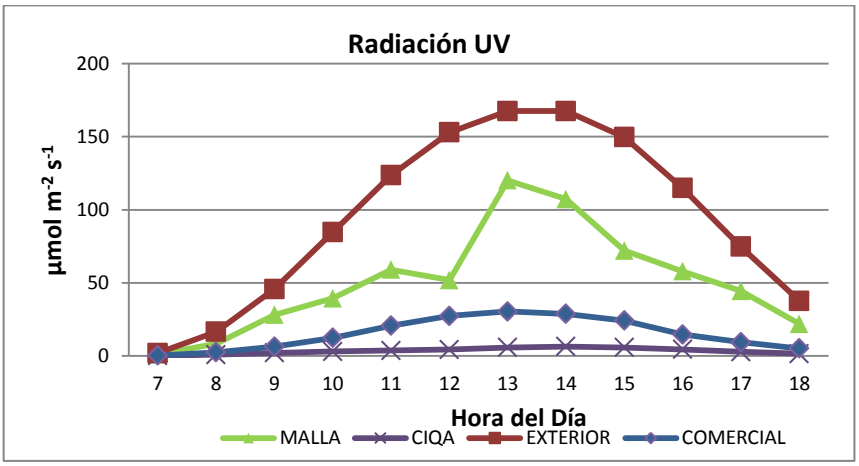

Figura 28. Transmisión de la Radiación UV permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.4.2 Radiación PAR

En cuanto a trasmisión de radiación PAR (Figura 29). Se observa que la película Comercial tiene una alta trasmisión (80% aproximadamente), comparada con la película CIQA, la cual tiene aproximadamente un 40% menos que la comercial, que bajo las condiciones de radiación de la región no representaría un problema de falta de luz a los

cultivos, ya que en la película desarrollada en CIQA se tienen mas de 500 micromoles en la mañana y tarde y hasta 800 a 1000 micromoles de radiación PAR en las horas de mayor actividad fotosintética, suficientes para cumplir con el punto de saturación requerido por el cultivo, sin embargo la película comercial sobrepasa por mucho los límites adecuados de radiación para el cultivo (mas de 1500 micro moles), lo que representa un problema sobre las condiciones micro ambientales en el invernadero repercutiendo en altas temperaturas, baja humedad relativa e impactando negativamente el déficit de presión de vapor (DVP), además puede inducir a las plantas a un estado de foto respiración con el subsecuente gasto de energía, en lugar de producción de energía para acumularse en biomasa.

Por otro lado la malla sombra utilizada por el agricultor tiene un 60% de trasmisión de PAR con respecto al exterior y permite mayor trasmisión de PAR que la película CIQA, pero menor que la película comercial, aunque a las horas de mayor radiación llega a límites un poco mayores que los ideales para el cultivo.

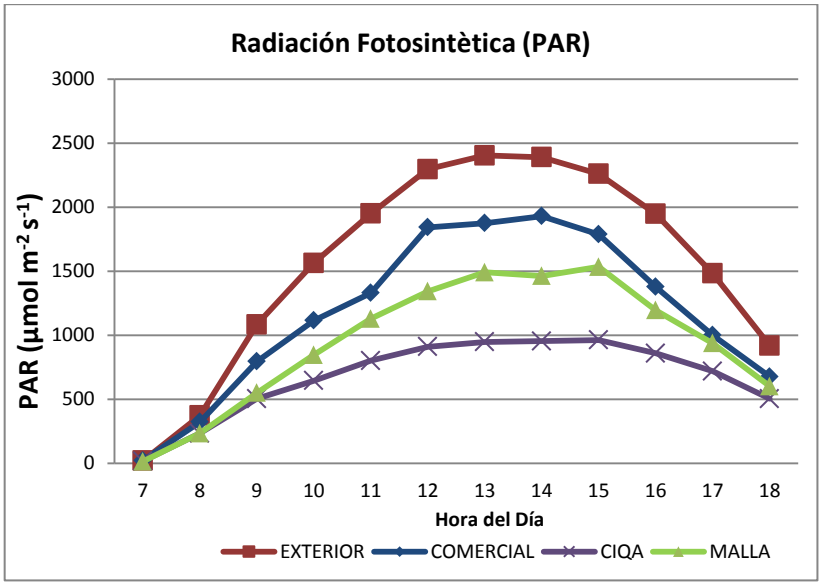

Figura 29. Transmisión de la Radiación Fotosintéticamente Activa permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.4.3 Radiación Difusa

Los resultados de la caracterización inicial en cuanto a difusión de luz se muestran en las Figuras 30 y 31. La película CIQA es la que presenta mayor difusión de la luz en el rango del visible con valores de cerca del 80% de difusión, mientras que la película

comercial tiene entre 30 y 40% y la difusión de luz en la malla es igual que en el exterior con solamente un 10 a 13 %.

La luz difusa es importante en los invernaderos ya que mejora la uniformidad de la luz en todo el invernadero. En este estudio se observa que la malla sombra prácticamente no difunde la luz dentro del invernadero, causando mayor sombreado al interior del dosel de la planta en perjuicio del desarrollo del cultivo y del crecimiento mas estructurado y uniforme en el follaje que puede impactar negativamente la actividad fotosintética en las plantas y mas baja productividad.

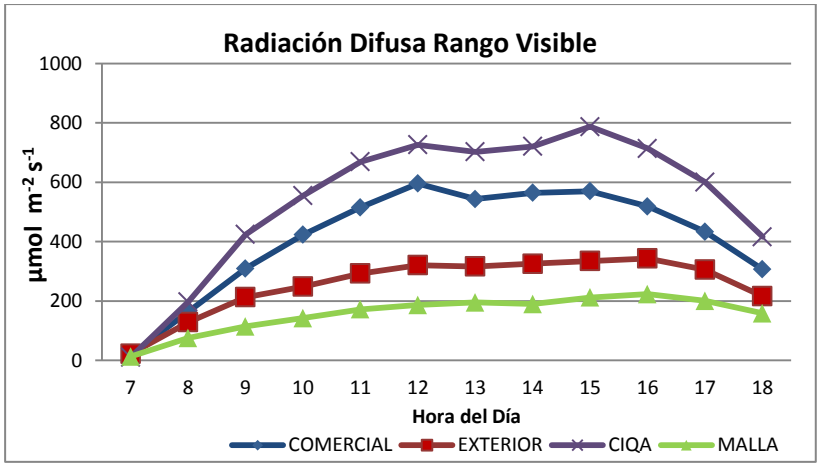

Figura 30. Transmisión de la radiación difusa en el rango del visible permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA

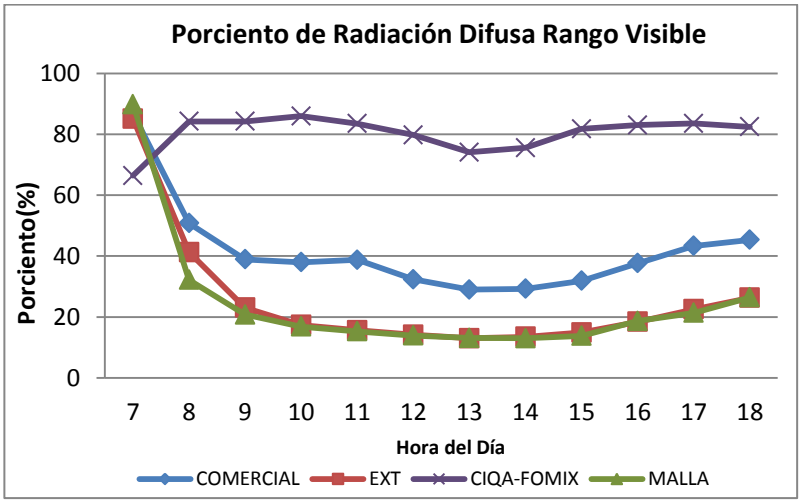

Figura 31. Porciento de difusión de la Radiación en el rango del visible permitida por cada una de las películas y malla sombra en estudio en la caracterización inicial en CIQA

4.4.4 Radiación Total

En cuanto a trasmisión de radiación total (Figura 32) se observa que la película Comercial tiene una alta trasmisión comparada con la película CIQA y en un punto intermedio esta la trasmisión total en la malla sombra, presentando la misma tendencia que la trasmisión del PAR. Se observa un poco de mayor irregularidad en el paso de la radiación en la malla con respecto a las dos películas.

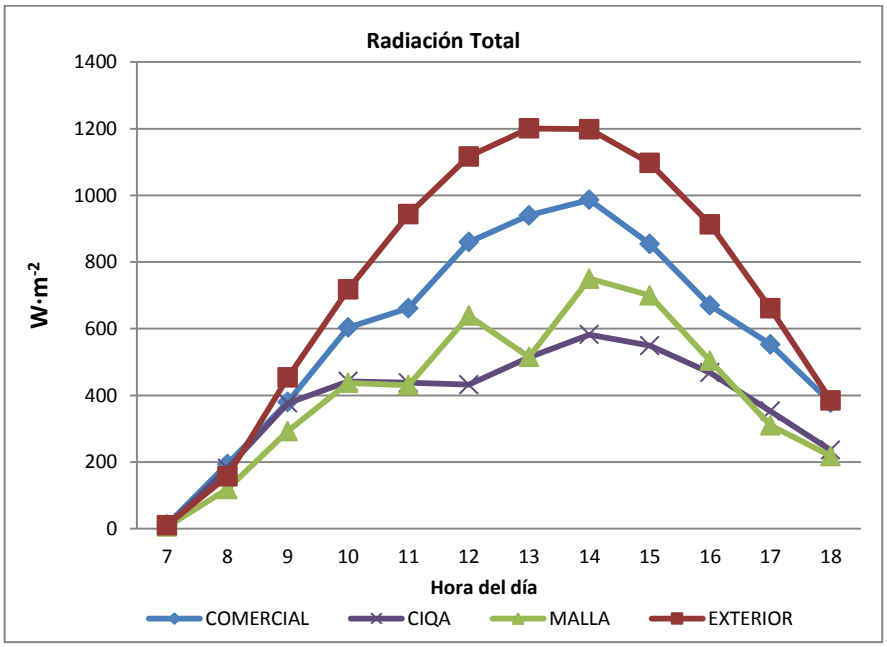

Figura 32. Transmisión de la Radiación Total permitida por cada una de las películas en estudio en la caracterización inicial en CIQA

Los resultados de las caracterizaciones en campo muestran que las tres cubiertas evaluadas en el proyecto tienen propiedades ópticas muy diferentes, por lo tanto las condiciones micro ambientales de los invernaderos en donde se colocaron también fueron diferentes y esto se reflejó en la respuesta del cultivo que no fue igual en cada ambiente generado por estas cubiertas. Los resultados micro ambientales agronómicos se presentan a continuación.

4.5 Evaluación Agronómica

4.5.1 Transmisión de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en los Diferentes Invernaderos

Se realizó un análisis del comportamiento de la radiación fotosintética y su efecto sobre las condiciones micro ambientales a través del tiempo de desarrollo del cultivo en los invernaderos cubiertos con las diferentes películas y la malla sombra, Se tomaron los meses al inicio, mediados y finales del cultivo para realizar dicho análisis, En general tanto la radiación PAR como los factores micro ambientales en los invernaderos fue diferente debido a que las películas de la cubierta tenían distintas propiedades ópticas.

La comparación de medias de la radiación registrada en los diferentes invernaderos y en el exterior por mes, tanto la media del día (6 A.M. a 9 P.M.) (Cuadro 9), como la media de las horas mas calientes (1 a las 3 P.M.) (Cuadro 10) muestran que existen diferencias significativas en los tres primeros meses (Junio a Agosto), pero no en los dos últimos (Septiembre y Octubre).

Al inicio del cultivo, cuando las películas tenían todas sus propiedades ópticas originales los resultados de la transmisión de PAR en las horas de máxima radiación (1 a 3 PM), mostraron que la mayor transmisión se presentó en la película comercial con 78.80 % y un bloqueo de 21.20 % de la radiación con respecto al exterior, seguido por la malla sombra con una trasmisión de 54.80 % y bloqueo de 45.20 % y la menor trasmisión de radiación PAR se tuvo en la película CIQA con 46.20 %, y con el mayor bloqueo de 53.80 % (Figura 33).

En la Malla sombra y el invernadero CIQA tuvieron una diferencia de bloqueo de 8.6 % lo que significa 217.91 micro moles menos, esto es traducido a un ambiente mas parecido entre la Malla sombra y el ambiente propiciado por el invernadero que cuenta con la película CIQA.

Entre la película CIQA y la película Comercial se tuvo una diferencia de bloqueo de 32.6 % lo que significa 825.40 micromoles menos, La mayor cantidad de radiación en el invernadero cubierto con la película Comercial causa mayor temperatura y menor HR, lo que a su vez influye en un mayor DPV influyendo negativamente en el cultivo.

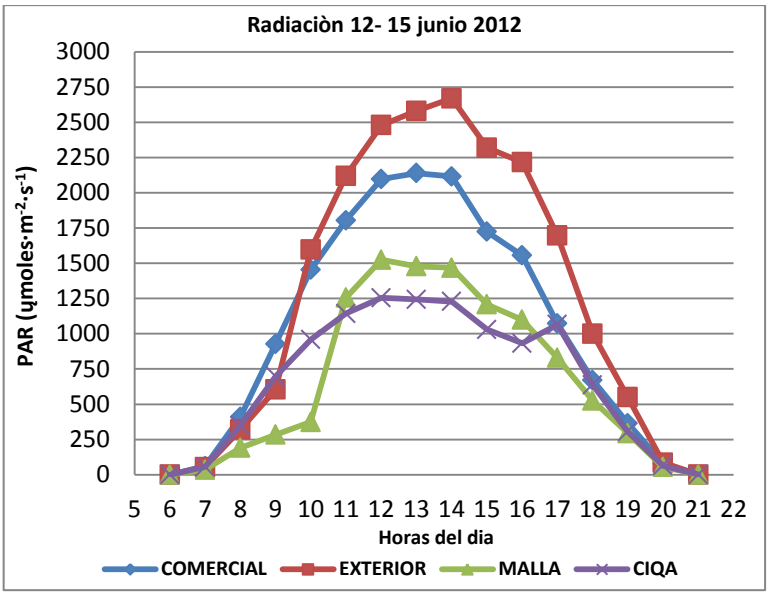

Figura 33. Comportamiento de radiación de las diferentes películas plásticas y malla sombra respecto al exterior al inicio del experimento

Las radiaciones medias máximas en los invernaderos (Cuadro 10) en el mes de Junio se presentaron el día 28 de Junio (Figura 34). En la película comercial se trasmitieron 1956.33 micromoles, en la malla sombra 1471 micromoles, mientras que en la película CIQA fueron de 1145 micro moles, en el exterior se registraron radiaciones máximas de 2618 micro moles. En este día de mayor trasmisión del mes la diferencia de micro moles transmitidos entre la Malla Sombra y la película CIQA fue de 326 micro moles, mientras que la diferencia entre la película Comercial y la película CIQA fue de 811.33 micromoles.

Esto se reflejó en que los ambientes de la Malla Sombra y la película CIQA fueron mas parecidos. Las altas radiaciones recibidas dentro del invernadero Comercial se reflejaron en un estrés en las plantas muy visible desde el trasplante con muchas fallas debido al exceso de calor y radiación y posteriormente en un menor y más lento desarrollo de las plantas, con respecto a las plantas del invernadero con cubierta CIQA y a las de la malla sombra.

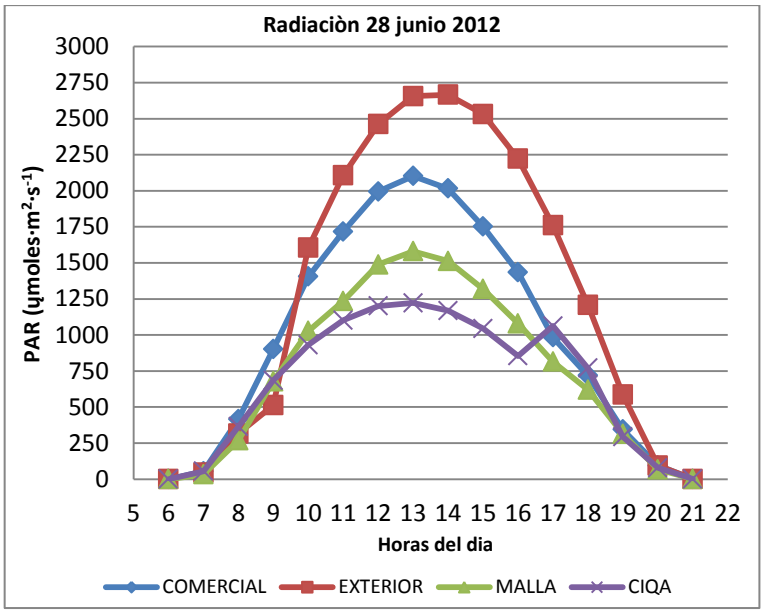

Figura 34. Radiaciones de las diferentes películas, malla sombra y exterior en el día con más temperatura registrada en el mes de Junio

En el periodo del 16-30 Junio (Figura 35), considerando desde que salía el sol a las 6 de la mañana hasta que se metía a las 9 de la noche, se tuvieron radiaciones medias del día de 972.53 micro moles en la película Comercial, 682.71 micromoles en la Malla Sombra y 660.65 micromoles en la película CIQA, mientras en el exterior se tuvieron radiaciones de 1242.50 micromoles En la película CIQA se tuvo una diferencia de 22.06 micro moles menos con respecto a la malla sombra y 311.89 micromoles menos con respecto a la película Comercial. Estos resultados muestran que en la película CIQA se atenúa más la radiación en las horas críticas que en las otras dos cubiertas y su variación diaria es mucho menor.

Cuando el cultivo tenia alrededor de 20 días de trasplante, las radiaciones medias trasmitidas en la película Comercial oscilaron entre 843.15 micromoles y 1160.91 micromoles, en la Malla Sombra hubo oscilaciones entre 507.15 micromoles y 850.25 micromoles y en la película CIQA los valores de oscilación fueron entre 557.15 micromoles y 632.16 micromoles, el “agarre” de la plántula en el ambiente propiciado por la película Comercial fue muy difícil por el exceso de radiación que esta dejaba pasar reflejándose directamente en un exceso de temperatura y DVP no óptimo (Figuras 50 y 61), debiéndose replantar 126 plántulas en el transcurso del 11 al 18 junio, mientras que en la Malla Sombra se replantaron 47 plántulas y en el invernadero cubierto con la película CIQA solo se replantaron 27 plántulas.

Los ambientes más propicios para la etapa del trasplante se obtuvieron en la Malla Sombra y en el invernadero cubierto por la película CIQA, ya que en esta etapa en el interior del invernadero Comercial se tuvieron temperaturas muy altas, por consiguiente el suelo estaba al límite o sobrepasaba las temperaturas permitidas por el cultivo.

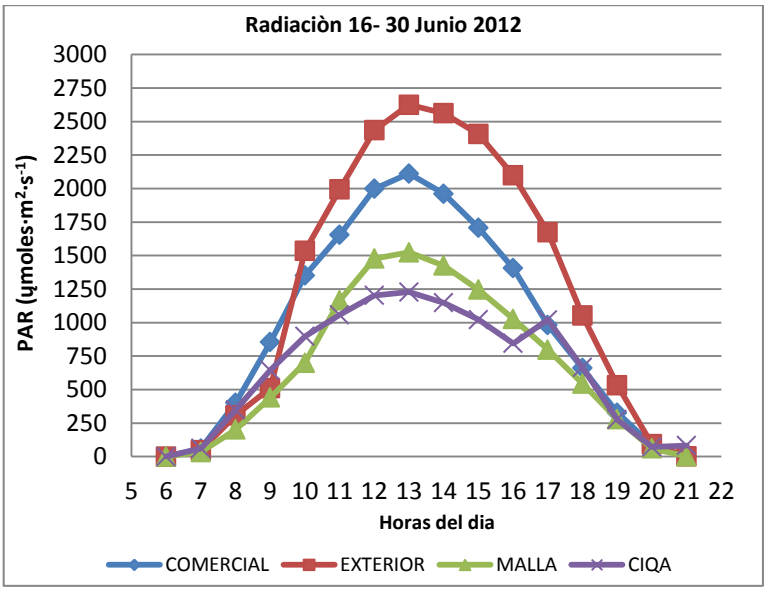

Figura 35. Radiaciones medias horarias en el periodo 16-30 Junio 2012

En el segundo período de evaluación que fue en Agosto, ya cuando el cultivo estaba en pleno desarrollo los resultados de la transmisión PAR en las horas de radiación máxima del día, se registraron en el periodo 1-15 Agosto, ya con alrededor de 2 meses después del trasplante., Los valores de radiación PAR en los invernaderos mostraron que la mayor transmisión se presentó en la película comercial con 65.34 % y un bloqueo de 34.66 % de la radiación con respecto al exterior, seguido por la Malla Sombra con una trasmisión de 48.80 % y bloqueo de 51.20 % y la menor trasmisión de radiación PAR se tuvo en la película CIQA con 41.34 %, y con el mayor bloqueo de 58.66 % .

En la Malla Sombra y el invernadero CIQA tuvieron una diferencia de bloqueo de 7.46 % lo que significa 185.69 micromoles menos en el invernadero con la película CIQA, esto es traducido a un ambiente parecido en la malla que utiliza el productor ya que es muy baja la diferencia de micromoles entre el ambiente de la Malla Sombra y el ambiente propiciado por el invernadero que cuenta con la película CIQA.

Entre la película CIQA y la película Comercial se tuvo y una diferencia de bloqueo de 24 % lo que significa 596.99 micromoles menos en el invernadero con la película CIQA. En dos meses en la película Comercial se perdió aproximadamente un 13% de

trasmisión de PAR, mientras que en la película CIQA y Malla Sombra solo se perdió un 5%, (Cuadro 11) esto debido a polvo acumulado y pérdida de aditivos o modificación de propiedades de los aditivos, esta modificación en la trasmisión de radiación también se refleja en modificación al microambiente del cultivo, lo cual todavía no fue suficiente para atenuar las temperaturas ya que todavía la mayor cantidad de radiación en el invernadero cubierto con la película Comercial provocó mayor temperatura y menor HR, lo que a su vez influye en un mayor DPV influyendo negativamente en el óptimo desarrollo del cultivo.

Las radiaciones medias máximas en los invernaderos en el mes de Agosto se presentaron el día 2 de Agosto (Figura 36), fueron: en la película Comercial 1770 micromoles, en la Malla Sombra 1437.33 micromoles, mientras que en la película CIQA fueron de 1078.33 micromoles, mientras que en el exterior se registraron radiaciones máximas de 2620.66 micromoles.

El día 2 de Agosto que presentó la mayor PAR del mes, la diferencia de micro moles transmitidos entre la Malla Sombra y la película CIQA fue de 359 micromoles, mientras que la diferencia entre la película Comercial y la película CIQA fue de 691.67 micromoles. El diferencial de trasmisión entre la Malla Sombra y la película CIQA del mes de Junio al mes de Agosto fue tan solo de 30 micromoles de PAR, mientras que entre la película Comercial y la CIQA fue de 120 micromoles, esto confirma una vez mas la mayor pérdida de propiedades ópticas en la película Comercial.

El microambiente de la Malla Sombra y el de la película CIQA es muy parecido, aunque haya una diferencia de 359 micromoles de radiación mas en la Malla Sombra, esto se debe a que en la Malla Sombra tipo raschel hay mas ventilación, y eso se traduce en renovaciones de aire en el interior de esta evitando así la acumulación de calor, que a su vez influye en mayor HR y menor DPV.

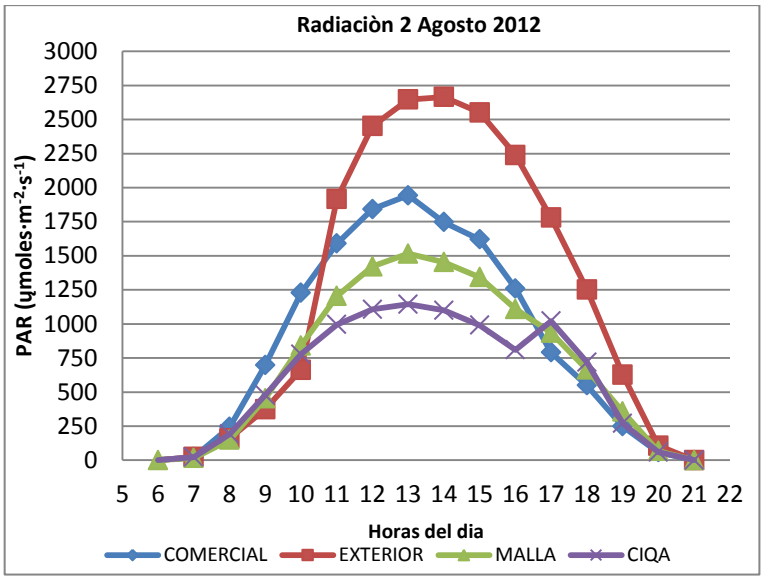

Figura 36. Comportamiento de la PAR el día de mayor radiación el mes de Agosto

Las radiaciones medias del día (6 A.M.-9 P.M.) del periodo comprendido del 1-15 de Agosto (Figura 37) muestran valores de 799.81 micro moles en la película comercial, 617.17 micromoles en la Malla sombra y 564.16 micromoles en la película CIQA, mientras en el exterior se tuvieron radiaciones de 1181.06 micromoles. La diferencia entre la película CIQA y la Malla sombra fue de 53.01 micromoles menos y con respecto a la película Comercial fue de 235.65 micromoles de PAR, el diferencial de radiación con respecto al mes de Junio fue ligeramente mayor con la malla sombra (30 micromoles), pero menor con respecto a la película Comercial (93 micromoles menos).

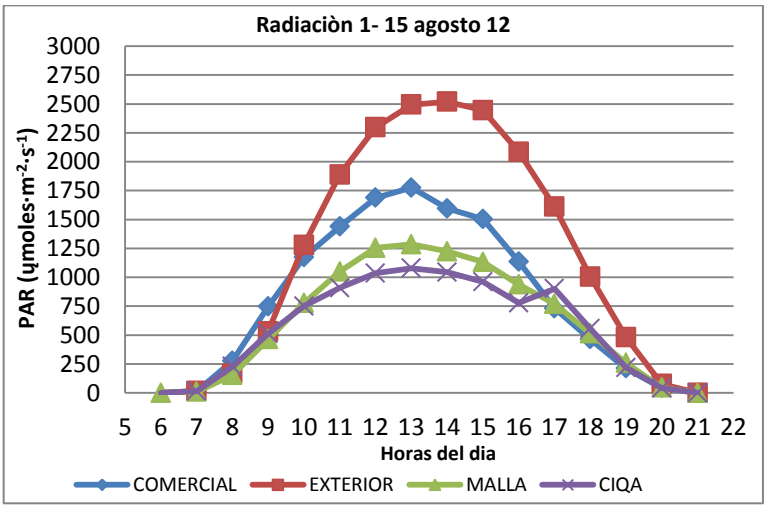

Figura 37. Radiaciones promedio horarias del periodo 1-15 Agosto 2012

En este periodo de Agosto el cultivo tenia alrededor de 70 días de trasplante y las radiaciones medias diarias en la película Comercial oscilaron de 610.98 micromoles y 917.81 micromoles, en la Malla Sombra hubo oscilaciones entre 545.13 micromoles y 792.26 micromoles y en la película CIQA los valores de oscilación fueron entre 511.07 micromoles y 662.46 micromoles (Cuadro 9). Aparentemente con estos valores medios de radiación la película Comercial tiene una trasmisión óptimo de radiación para el cultivo de tomate y la película CIQA así como la Malla Sombra tienen un déficit de trasmisión de PAR, sin embargo esto es engañoso, ya que al tomar los valores medios de trasmisión de radiación no se pueden observar los valores máximos de radiación y su duración que son los que realmente impactan negativamente al microambiente y al cultivo. En la Figura 37 se puede observar que en la película Comercial se tienen 5 horas con valores de radiación entre 1400 y 1750 micromoles que generan condiciones ambientales estresantes y que pueden inducir a las plantas a la fotorespiración en vez de fotosíntesis y por lo tanto afectan negativamente el desarrollo del cultivo. En cambio en el invernadero con cubierta CIQA y en la malla sombra se tienen 7 horas con valores de radiación entre 750 y 1250 micromoles de PAR, suficientes para una mejor respuesta fisiológica del cultivo de acuerdo a Nobel (2009) quien menciona que muchas de las plantas C3 tienen el limite superior de fijación de CO_2 a 600 µmol $m^{-2} \cdot s^{-1}$ de flujo de fotones fotosintéticos ((PPF) (PAR)) y mayor cantidad de flujo de fotones ya no es aprovechado si la concentración de CO_2 no se aumenta, entonces en los invernaderos sin adición de CO_2 una mayor radiación no es aprovechada, Howard (2010) menciona que los ambientes mas propicios para el desarrollo del cultivo en saturación por radiación son entre 800 y 1200 y que luminosidad superior a 1200 micromoles no dará paso a mas fotosíntesis, sino que afectara al cultivo de tomate.

A los cinco meses de trasplantado el cultivo, en el mes de octubre se volvió a analizar el comportamiento de la trasmisión de la PAR (Cuadro 9 y 10) (Figuras 38 y 39). Los resultados mostraron que la mayor transmisión se presentó en la Malla sombra con 47.95 % y un bloqueo de 52.05 % de la radiación con respecto al exterior, seguido por la película Comercial con una trasmisión de 43.36 % y bloqueo de 56.64 % y la menor trasmisión de radiación PAR se tuvo en la película CIQA con 35.53 %, y con el mayor bloqueo de 64.47 %.

Entre la Malla Sombra y el invernadero con película CIQA se tuvo una diferencia de bloqueo de 12.42 % lo que significa 223.62 micromoles menos en el invernadero con la película CIQA, entre la película CIQA y la película Comercial se tuvo y una diferencia

de bloqueo de 7.83 % lo que significa 142.76 micromoles menos en el invernadero con la película CIQA, este comportamiento ya no fue igual que en los meses anteriores ya que en este último mes la trasmisión de radiación fue menor en la película Comercial.

Las radiaciones medias máximas en los invernaderos en el mes de Octubre se presentaron el día 4 de Octubre, fueron (Figura 38): en la película comercial 977.26 micromoles, en la malla sombra 889.86 micromoles, mientras que en la película CIQA fueron de 794.53 micromoles, mientras que en el exterior se registraron radiaciones máximas de 2352.66 micromoles. La diferencia de micromoles (Cuadro 11) transmitidos entre la Malla Sombra y la película CIQA fue de 95.33 micromoles, mientras que la diferencia entre la película Comercial y la película CIQA fue de 182.73 micromoles. La diferencia de trasmisión entre las cubiertas en este último período fue mucho menor que las que se tuvieron al inicio del cultivo y esto se debe a la mayor acumulación de suciedad y pérdida de propiedades ópticas en la película Comercial con respecto a la de CIQA.

En la Malla Sombra aunque hay una mayor trasmisión de PAR 95.33 micromoles mas que en la película CIQA, el ambiente es igual ya que hay mas ventilación, y eso se traduce en renovaciones de aire en el interior de esta, sin embargo se tienen que tener mas cuidados fitosanitarios sobre el cultivo por los altos valores de Humedad Relativa (HR) que se presentan, sobre todo cuando ocurren lluvias, ya que estas afectan a la propagación de enfermedades que pueden causar daños irreparables en el cultivo.

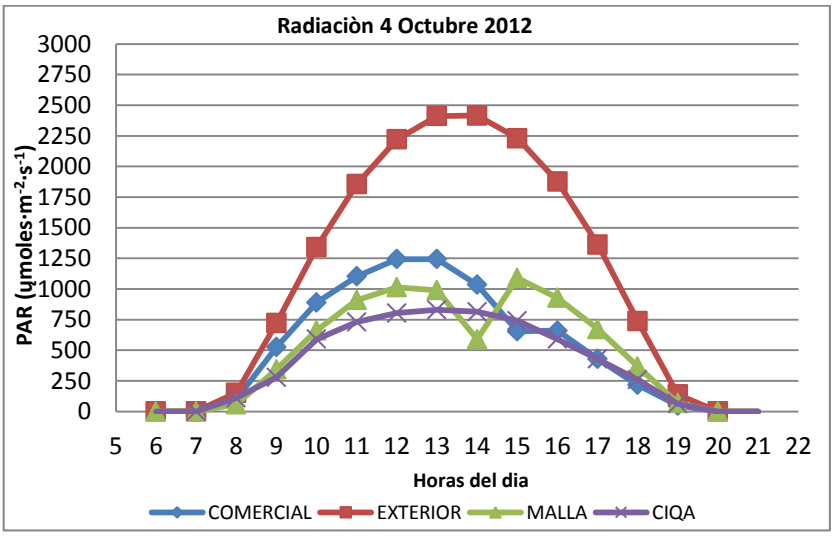

Figura 38. Radiaciones medias máximas el día 4 de Octubre 2012

Considerando las radiaciones medias del día (6 A.M.-9 P.M.) del periodo comprendido del 1-15 de Octubre (Figura 39) se observa que de Junio a Octubre se tiene una disminución bastante considerable de trasmisión en la película Comercial con respecto a la Malla y a la película CIQA, la curva de radiación (Figura 39) y el diferencial de trasmisión a través del tiempo (Cuadro 11) muestran una marcada disminución en el diferencial de las radiaciones entre las tres cubiertas con respecto al diferencial que se tuvo en el mes de Junio. Las medias de la radiación de las 6 A.M. a las 9 P.M. son de 387.79 micromoles en la película Comercial, 426.35 micro moles en la Malla sombra y 311.55 micromoles en la película CIQA, mientras en el exterior era de 828.19 micromoles.

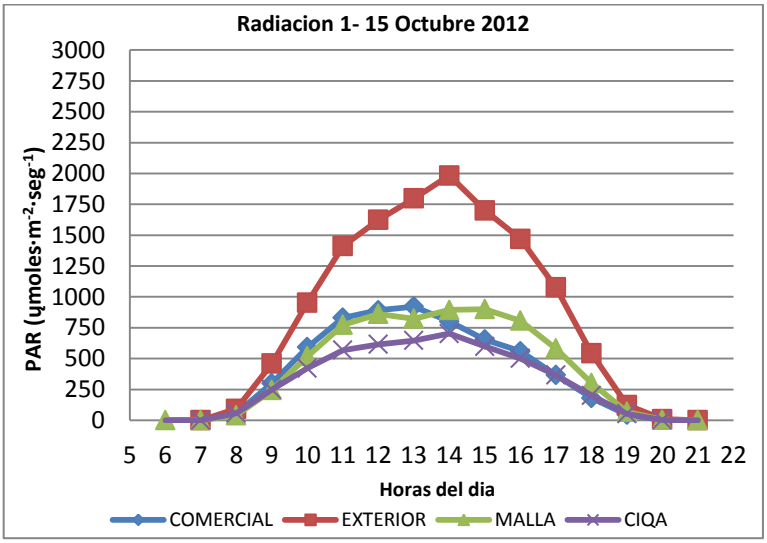

Figura 39. Radiaciones medias horarias del día en el periodo 1-15 Octubre 2012

En el periodo de Octubre el cultivo tenia alrededor de 120 días de trasplante y en plena producción y las radiaciones medias diarias de la película Comercial oscilaron de 229.29 micromoles y 591.60 micromoles, en la malla sombra hubo oscilaciones entre 261.29 micromoles y 704.27 micromoles y en la película CIQA los valores de oscilación fueron entre 180.89 micromoles y 484.94 micromoles. Con estos valores de radiación media en las dos películas y en la Malla Sombra ya se tienen valores inferiores por varias horas al punto de saturación de luz para un buen desempeño del cultivo y esto se debió a la disminución normal de la radiación en el año , pero mucho también a la disminución de la trasmisión que se tuvo en las cubiertas, por lo cual se tiene que cuidar el mantenimiento de las cubiertas para eliminar el polvo acumulado y

buscar películas que no tengan pérdidas tan marcadas en sus propiedades en tan poco tiempo como ocurrió con la película Comercial. En cuanto a la película CIQA se podría considerar un ajuste en la formulación para aumentar un poco más su trasmisión a la radiación PAR.

Cuadro 9. Comparación de Medias de Radiación Media Fotosintética (6 A.M. a 9 P.M.) observada dentro de los invernaderos durante el experimento

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	672.229 c	557.260 c	561.959 c	355.999 b	271.792 b
COMERCIAL	989.668 b	800.837 b	802.717 b	469.460 b	317.184 b
MALLA	636.954 c	549.303 c	677.515 bc	341.392 b	283.865 b
EXTERIOR	1229.130 a	1095.031 a	1192.339 a	937.033 a	714.508 a
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

Cuadro 10. Comparación de Medias de Radiación Máxima (1 P.M. a 3 P.M.) observada en los diferentes invernaderos durante el experimento

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	1126.456 c	1085.522 c	1049.717 c	720.472 bc	627.633 b
COMERCIAL	1912.722 b	1738.011 b	1674.167 b	1013.556 b	725.044 b
MALLA	1355.106 c	1159.306 c	1399.356 b	673.550 c	676.578 b
EXTERIOR	2467.667 a	2440.922 a	2521.167 a	2016.722 a	1722.317 a
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

Cuadro 11 Medias (10 AM a 5 P.M.) del diferencial de trasmisión (%) de radiación PAR con respecto al exterior a través del tiempo, en invernaderos con diferentes cubiertas en el cultivo de Tomate Cherry Tipo Uva

Meses	Periodo	Trasmisión PAR % con respecto al exterior		
Junio		COMERCIAL	MALLA	CIQA
	16 a 30	-24.19	-46.65	-50.50
Julio	1 a 15	-25.40	-45.65	-50.13
	16 a 31	-29.66	-45.84	-51.39
Agosto	1 a 15	-32.84	-48.76	-53.87
	16 a 30	-40.68	ND	-56.42
Septiembre	1 a 15	-44.47	ND	-60.61
	16 a 30	-50.32	-61.18	-62.64
Octubre	1 a 15	-52.76	-48.13	-62.88
	16 a 30	-57.26	-54.35	-63.01

4.5.2 Evolución de la Radiación Fotosintética Mensual

En la Figura 40 a, b, c, d, e se muestra como fue la evolución de las radiaciones promedio mensuales horarias en los diferentes meses en que se llevó a cabo el experimento. Se puede observar que en el mes de Junio (Figura 40 a) la radiación exterior supera los 1200 micromoles por mas de 8 horas, en la película Comercial por siete horas, en la Malla sombra por cuatro horas y en la película CIQA solo por una hora, de acuerdo a Howard (2010) y Nobel (2009) para muchas de las plantas C3 como el tomate los puntos de saturación de luz se encuentran entre 800 y 1200 micromoles de PAR y que una luminosidad superior a 1200 micromoles no dará paso a mas fotosíntesis, sino que se puede iniciar el proceso de foto respiración con efectos negativos para el buen desarrollo del cultivo. De acuerdo a esto se puede decir que el ambiente mas propicio para el desarrollo del cultivo de tomate cherry tipo uva en Junio fue en el invernadero con la película CIQA y en la Malla Sombra.

En la Figura 40 (b) que corresponde al mes de Julio se puede observar que en el exterior las radiaciones superiores a 1200 micromoles perduraron por ocho horas, en la película Comercial por seis horas, en la malla Sombra por tres y en el invernadero con cubierta CIQA ni una hora estuvo por encima de 1200 micromoles de PAR, pero manteniendo aún ocho horas por arriba de 500 micromoles de PAR que es la cantidad que consideramos como el punto de compensación de luz para el tomate, así que en el mes de Julio el ambiente mas propicio para el desarrollo del cultivo fue en el invernadero cubierto con la película CIQA y en la Malla Sombra.

En el mes de Agosto (Figura 40 c) las radiaciones exteriores sobrepasaron los 1200 micromoles todavía por ocho horas, al igual que seis horas en la película Comercial y cuatro horas en la Malla Sombra, igual que en el mes anterior en la película CIQA no se registro ninguna hora por encima de los 1200 micromoles de PAR.. El comportamiento de la radiación en el mes de Agosto fue igual al del mes de Julio.

En el mes de Septiembre (Figura 40 d) empezó a disminuir la radiación incidente y la trasmisión en las cubiertas, principalmente en la cubierta Comercial. Las radiaciones en el exterior que sobrepasaron los 1200 micromoles duraron seis horas, pero en la película Comercial duraron solo una hora, mientras que en la Malla sombra y en la película CIQA no se registraron valores superiores a los 1200 micromoles, pero si se observaron ya valores mas abajo de los óptimos para el cultivo, incluso entre tres y cuatro horas por abajo del punto de compensación de luz el cual consideramos de 500 micromoles de

PAR. En este mes las condiciones de radiación fueron mejores en la película Comercial, tanto que el cultivo empezó a responder mejor en este invernadero y se recuperó del estrés que había tenido anteriormente.

En el mes de Octubre que fue el último mes de estudio, todavía las radiaciones que superaron los 1200 micromoles en el exterior fueron seis horas, sin embargo a pesar de que la radiación exterior se mantenía alta (hasta 2000 micromoles de PAR), en las tres cubiertas se tuvo casi la misma trasmisión de radiación, las máximas por abajo de los 800 micromoles de PAR y la mayor parte del día por abajo de los 500. Quezada y Arellano (2013) mencionan que el punto mínimo de compensación por radiación para el cultivo de tomate es de 500 micromoles y el punto por saturación es en 1000 micromoles. Esta disminución en la trasmisión de radiación en los tres invernaderos se puede deber aparte de la característica de la película, también al ángulo de incidencia de los rayos solares, los cuales al ser mas inclinados por el mes del año, no penetran igual a través de las cubiertas que en verano. Sin embargo estos resultados de homogenización de la trasmisión de la PAR en las tres cubiertas, a pesar de que la trasmisión al inicio era muy superior en la película Comercial, muestra que la formulación de la película CIQA regula mas la trasmisión de la radiación a través del tiempo que la película Comercial y que la Malla Sombra.

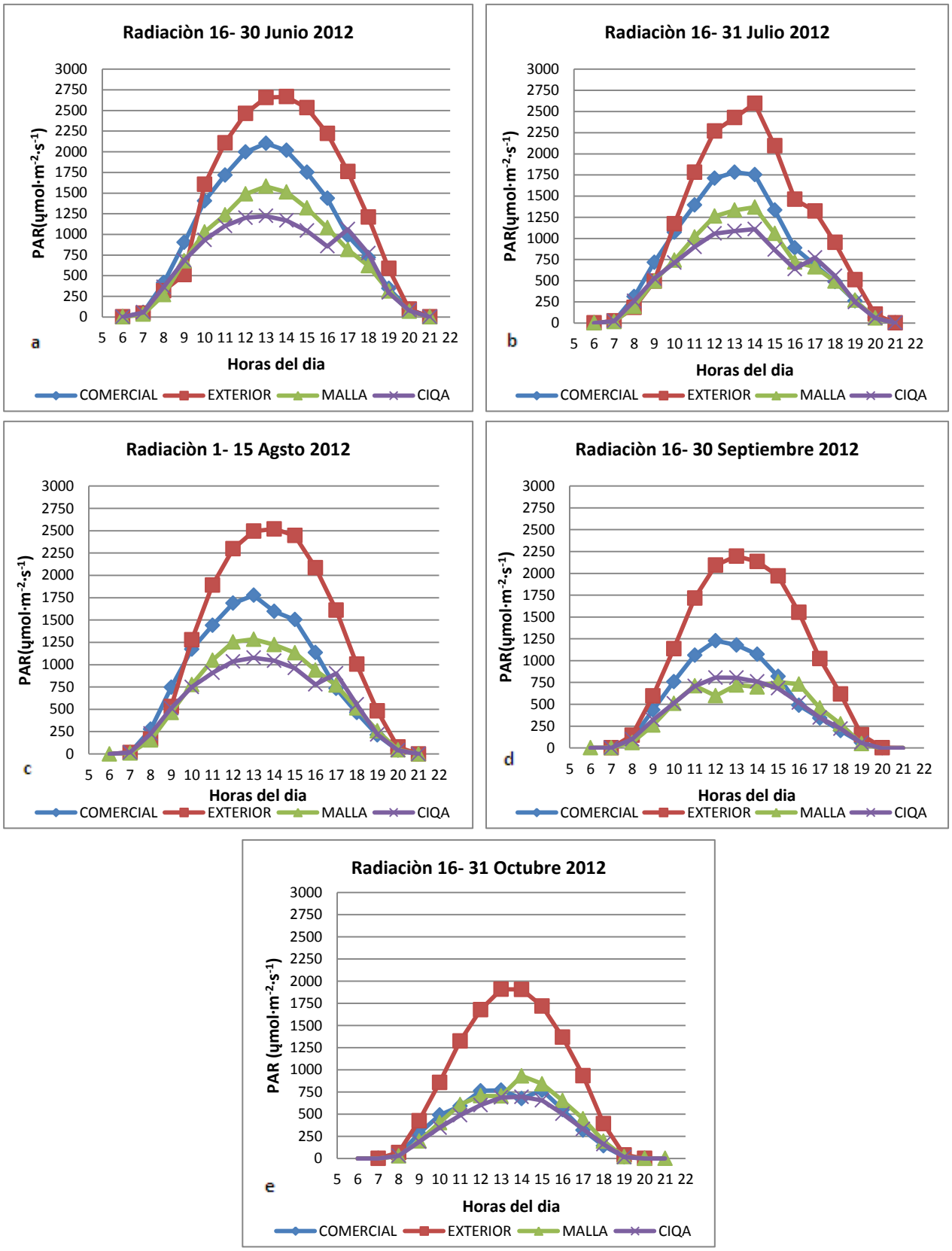

Figura 40 Radiaciones promedio medias horarias de las películas en los diferentes meses que duró el experimento a) Junio, b) Julio, c) Agosto, d) Septiembre y e) Octubre

4.5.3 Comparación de Temperatura en los Microambientes Evaluados

Las temperaturas internas dentro de los diferentes ambientes evaluados se vieron afectadas directamente por la radiación externa que se presento en ese momento, el tipo de película y el porcentaje de bloqueo que esta proporcionaba. Las temperaturas internas al inicio del cultivo son de gran importancia ya que la plántula requiere un ambiente fresco para el "amarre". En los cuadros 12, 13 y 14 se muestran las comparaciones de medias de las temperaturas medias mensuales y quincenales (6 A.M. a 9 P.M.), y máximas (1P.M. a 3 P.M.), así como los diferenciales de temperatura (10 A.M. a 5 P.M.). Se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos durante los cinco meses que duró el experimento. En todos los meses la temperatura ambiental en el exterior y en el invernadero con la película Comercial fue significativamente mas altas que en la Malla Sombra, pero estadísticamente igual que en la película CIQA, aunque no numéricamente. Las diferencias entre los tratamientos, considerando la media del día fue de entre uno y uno punto cinco grados, mientras que las diferencias considerando las temperaturas máximas del día fueron del orden de tres y hasta cuatro grados menos en la Malla Sombra y en el invernadero con la película CIQA, con respecto al exterior y al invernadero con la película Comercial. Se encontraron datos puntuales de temperatura en algunos días de hasta una diferencia de siete y ocho grados menos en la Malla Sombra e invernadero con la película CIQA con respecto a la temperatura exterior, estos datos no se presentan.

Cuadro 12. Comparación de Temperaturas Ambientales Medias Mensuales (6 A.M. a 9 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	28.716 ab	27.537 ab	28.38 bc	24.783 a	25.374 ab
COMERCIAL	29.767 a	28.501 a	29.102 b	25.86 a	26.426 a
MALLA	27.988 b	26.42 b	27.403 c	23.259 b	24.231b
EXTERIOR	29.72 a	28.567 a	31.137 a	25.835 a	26.227 a
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, No Significativo.

Cuadro 13. Comparación de Temperaturas Ambientales Máximas Mensuales (1 P.M. a 3 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	32.729 b	31.903 bc	32.268 bc	29.508 b	31.497 a
COMERCIAL	35.297 a	33.848 ab	34.095 b	31.826 a	33.397 a
MALLA	32.425 b	30.115 c	30.933 c	27.314 c	29.011 b
EXTERIOR	35.861 a	34.101 a	38.878 a	31.224 ab	32.381 a
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, No Significativo.

Cuadro 14. Diferencial de Temperaturas Ambientales Medias (10 A.M. a 5 P.M.) en los diferentes invernaderos con respecto al exterior

Meses	Periodo	Temperatura °C		
Junio		COMERCIAL	MALLA	CIQA
	16 a 30	+0.02	-1.84	-1.00
Julio	1 a 15	+0.26	-1.95	-0.99
	16 a 31	+0.50	-2.52	-1.27
Agosto	1 a 15	+2.08	+3.88	-2.88
	16 a 30	+0.93	-3.13	-1.75
Septiembre	1 a 15	-0.30	-2.47	-1.13
	16 a 30	-0.23	-2.11	-0.90
Octubre	1 a 15	-0.11	-1.97	-0.97
	16 a 30	-0.23	-2.06	-0.76

En Junio al inicio del cultivo y cuando las cubiertas tenían sus propiedades ópticas sin deterioro fue cuando se presentaron las temperaturas mas altas (Figuras 41, 42 y 43), en el exterior las temperaturas máximas llegaron a los 40 grados centígrados (ºC), mientras que el invernadero de la película Comercial se registraron 39 ºC, seguido por la Malla sombra con 35 ºC y la película CIQA con 35 ºC, teniendo estas temperaturas tan altas en el invernadero con la película Comercial el establecimiento de la planta fue muy difícil teniendo que trasplantar varias veces si éxito ya que por la elevada temperatura interior el suelo acolchado también se calentaba de manera muy excesiva presentándose muchas fallas, teniendo que replantar en este invernadero mas del 30 % de las plantas. Las temperaturas exteriores altas continuaron hasta agosto (Figuras 44 y 45), sin embargo en Agosto ya las temperaturas dentro de los invernaderos no fueron tan altas como en Junio, sobre todo en la película Comercial, y esto se debió ya a la perdida de trasparencia de las cubiertas que bloqueaba mas la radiación, disminuyendo así el

impacto en la temperatura. Las temperaturas más bajas durante el experimento se presentaron en los meses de septiembre y octubre (Figuras 46 y 47), ya cuando la temperatura exterior empezó a descender y cuando las películas perdido transparencia.

Nobel (2009) menciona que la fotosíntesis es máxima a cierta temperatura, que a menudo va de 30 a 40 grados centígrados dependiendo del cultivo, aumenta cuando se va acercando al óptimo y desciende cuando pasa el limite adecuado y que la foto respiración es influenciada también por la radiación y por la temperatura pero no de igual forma que la fotosíntesis; la fotosíntesis usualmente se duplica cuando vamos de 20 a 30 ºC y en este mismo intervalo de temperatura la foto respiración se triplica, como la temperatura es resultado de la radiación incidente es mas perjudicial el incremento excesivo de temperatura debido al exceso de radiación que lo que beneficia. Por su parte Snyder en el (2010) realizó estudios en invernaderos con clima controlado, llegando a la conclusión de que durante el día una temperatura aceptable serian los 28ºC, a los 30.5ºC ya es una temperatura de estrés para el desarrollo de la planta pero se sigue desarrollando y de los 33ºC hacia arriba la temperatura es critica para el cultivo, ya que afectaría el funcionamiento fisiológico de la planta, estresándose y dejando de desarrollar. En este trabajo se observó que todavía a temperaturas de 35 ºC como las que se tuvieron en el invernadero con cubierta CIQA y Malla Sombra el desarrollo del cultivo de tomate cherry tipo uva fue bueno, no así en el invernadero con la película Comercial en donde si se vio estrés de la planta y menor desarrollo del cultivo en temperaturas ambientales mayores de 35 ºC y con radiaciones solares más directas a diferencia de las radiaciones mas difusas que se tenían en el invernadero con cubierta CIQA, lo que atenuaba mas el impacto de la radiación sobre el cultivo.

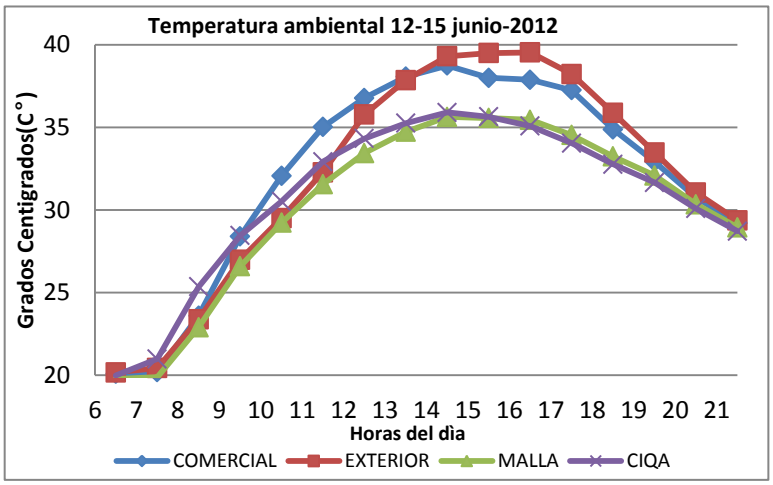

Figura 41. Temperaturas ambientales horarias, medias al inicio del cultivo en los diferentes invernaderos y exterior

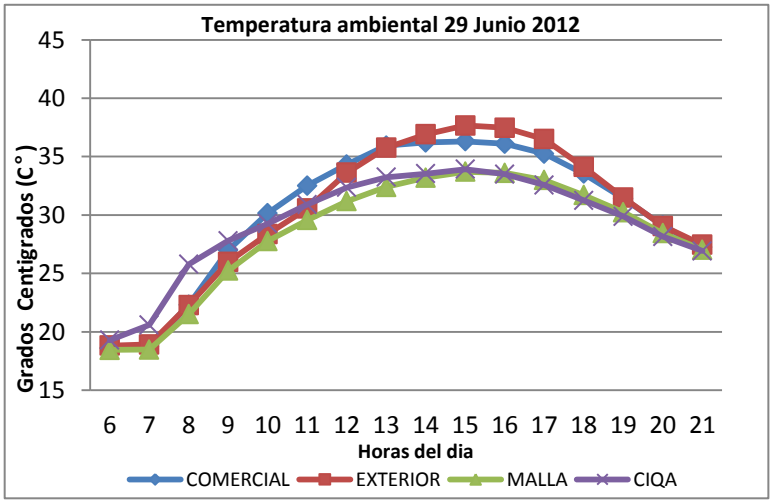

Figura 42. Temperatura ambiental en el día más caliente del mes de Junio en los diferentes invernaderos y exterior

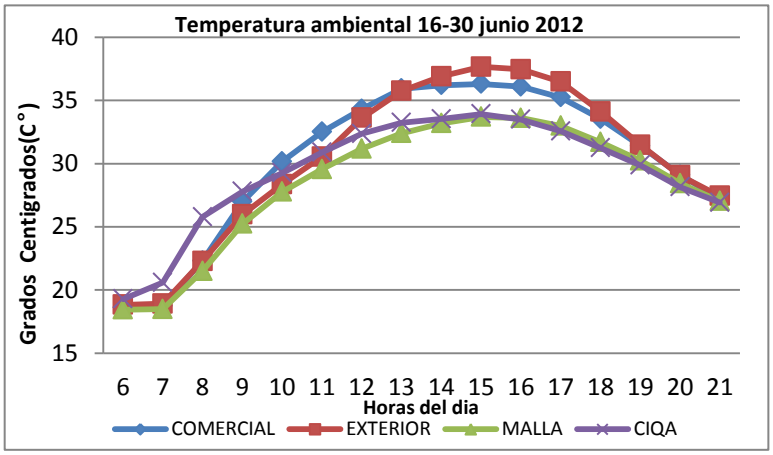

Figura 43. Temperaturas ambientales horarias, medias del 16 al 30 de Junio en los diferentes invernaderos y exterior

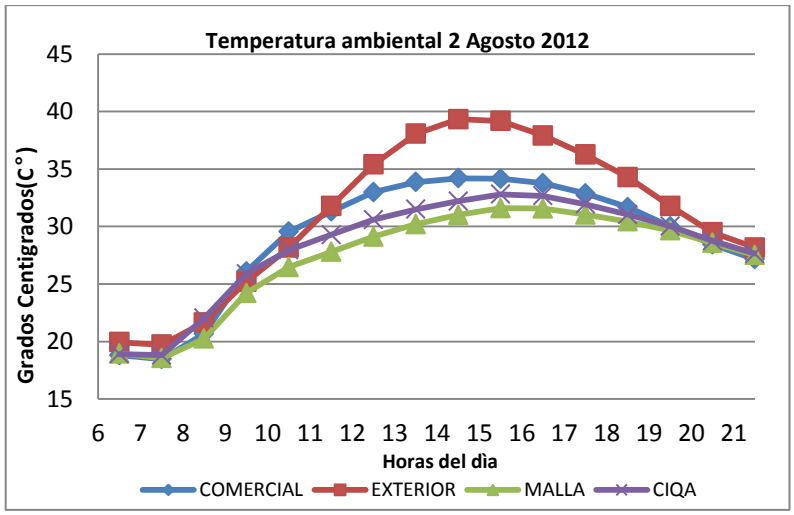

Figura 44. Temperaturas medias máximas 2 Agosto 2012

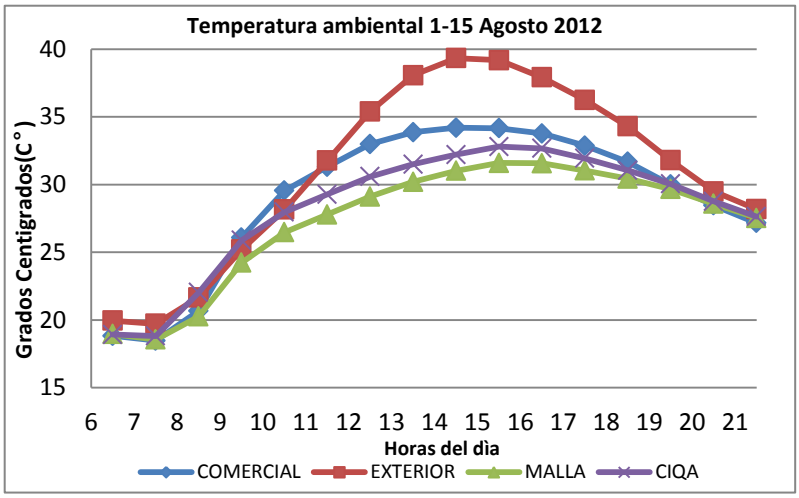

Figura 45. Temperaturas medias horarias del periodo 1-15 Agosto 2012

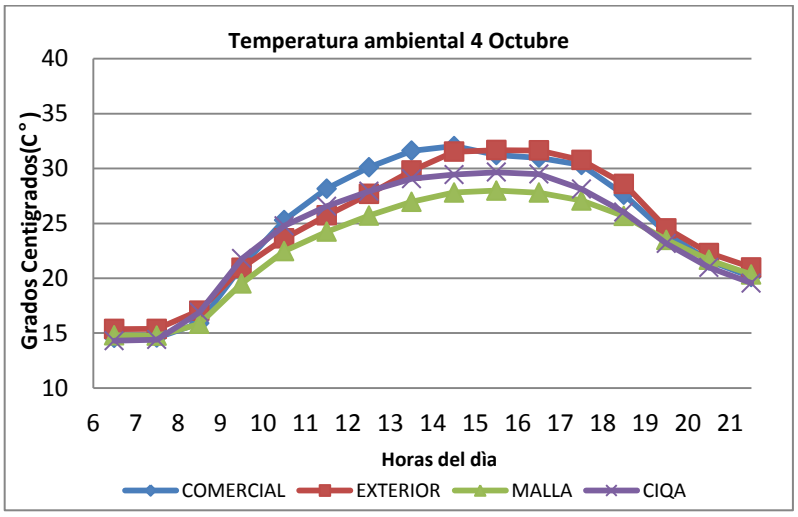

Figura 46. Temperaturas medias máximas 4 Octubre 2012

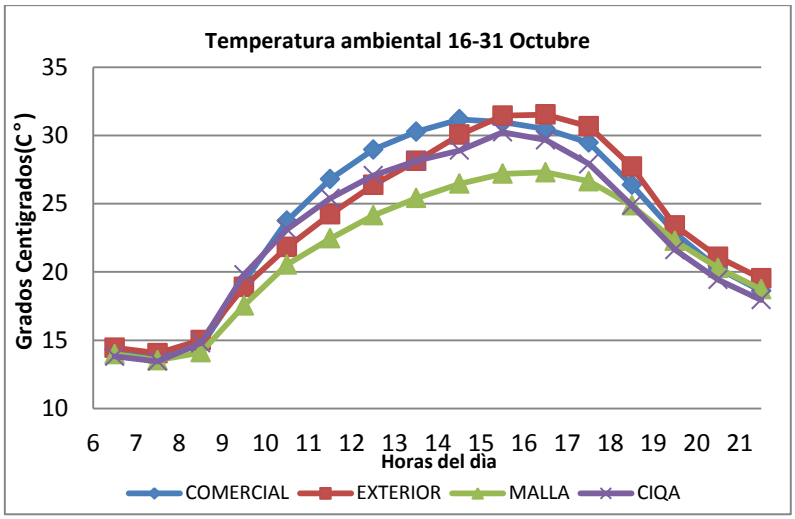

Figura 47. Temperaturas medias horarias del periodo 16-31 Octubre 2012

4.5.4 Comparación de Humedad Relativa en los Microambientes Evaluados

La Humedad Relativa conjuntamente con la temperatura son dos factores que están muy influenciados por la radiación incidente, y que tienen un efecto directo en la respuesta productiva de los cultivos de invernadero. En este trabajo se determinó la HR generada en los ambientes de los invernaderos con las diferentes cubiertas y en el exterior como referencia, en los cuadros 15 y 16 se presentan las comparaciones de medias de la HR media mensual (6 A.M. a 9 P.M.) y máxima (1 P.M. a 3 P.M.) y se puede observar que en la HR media a excepción del mes de agosto en todos los demás meses que duró el experimento, no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ni con respecto al exterior. En cuanto a la HR máxima se observan diferencias significativas pero solo en los tres meses cuando el desarrollo vegetativo del cultivo fue mayor, no así al inicio (Junio), cuando apenas se había trasplantado y las plántulas estaban muy pequeñas, y al final (Octubre) que fue período de lluvias y cuando el cultivo ya estaba finalizando.

Cuadro 15. Comparación de Humedad Relativa Media durante el experimento

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	44.605 a	52.556 a	49.150 a	57.472 a	59.336 a
COMERCIAL	40.688 a	50.591 a	48.559 ab	54.443 a	55.787 a
MALLA	45.458 a	54.806 a	51.150 a	61.106 a	60.766 a
EXTERIOR	42.183 a	48.870 a	41.850 b	55.837 a	58.538 a
SIGNIFICANCIA	NS	NS	*	NS	NS

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

Cuadro 16. Comparación de Humedad Relativa Máxima durante el experimento

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	32.923 a	40.438 ab	36.515 a	41.996 ab	42.981 a
COMERCIAL	28.113 a	36.727 ab	34.671 a	36.750 bc	37.712 a
MALLA	31.793 a	43.382 a	38.689 a	46.214 a	43.941 a
EXTERIOR	26.189 a	32.236 b	21.783 b	38.489 abc	42.884 a
SIGNIFICANCIA	NS	*	*	*	NS

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

El diferencial de HR media diaria en los meses de desarrollo del cultivo se muestran en el Cuadro 17, donde se puede observar que a principio del experimento cuando se trasplantó la HR fue baja en los tres invernaderos, pero en el invernadero Comercial fue menor que en el exterior siguiendo así durante un mes, y en parte esta baja HR en combinación con la mayor temperatura en este invernadero afectó negativamente en forma importante al establecimiento de las plántulas en relación a la respuesta en la Malla Sombra e invernadero con cubierta CIQA. Se puede observar así mismo que el diferencial en la HR en el mes de agosto fue el mas alto de todo el período de evaluación del cultivo, sin embargo en este mes las temperaturas también fueron muy elevadas, este incremento de la HR en Agosto se debió a que las plantas estaban en pleno desarrollo, con abundante follaje y por lo tanto una alta transpiración del cultivo que ayudaba a incrementar la HR en el ambiente y al mismo tiempo a bajar la temperatura. En trabajos desarrollados por Arellano y Quezada (2013) (comunicación personal), mencionan que en cultivos de invernadero han observado que la transpiración del cultivo es un medio para bajar temperatura en el ambiente, es como un sistema de enfriamiento biológico, siempre y cuando las plantas tengan un considerable desarrollo vegetativo.

Cuadro 17. Medias mensuales (10 A.M. a 5 P.M.) del diferencial de Humedad Relativa (%) en Invernaderos y Malla sombra con cultivo de tomate cherry tipo uva y con respecto al exterior

		COMERCIAL	MALLA	CIQA
Junio	16 a 30	-0.73	3.47	2.65
Julio	1 a 15	-1.60	3.91	1.72
	16 a 31	1.96	6.15	3.28
Agosto	1 a 15	6.66	9.23	7.52
	16 a 30	4.18	7.91	5.13
Septiembre	1 a 15	0.11	6.02	1.94
	16 a 30	-2.31	3.50	0.94
Octubre	1 a 15	-2.57	-2.15	0.10
	16 a 30	-2.68	3.00	0.49

En las Figuras de la 48 a la 51 se puede ver el comportamiento de la HR media horaria de cada ambiente y en los diferentes meses de desarrollo del cultivo, no hay gran diferencia entre los ambientes, ligeramente mayor la HR en la Malla Sombra y en el invernadero con cubierta CIQA, pero los valores de HR en la mayor parte del período de mas alta actividad fisiológica del cultivo estuvieron por debajo del 50%. Bautista y Alvarado (2006) mencionan que la humedad relativa óptima para el tomate es de 60 a 70% y que HR por debajo del 50% ocasiona deshidratación del estigma y afecta negativamente a la polinización. En este trabajo se observó que las plantas en el invernadero con cubierta Comercial fueron las mas estresadas y de menor desarrollo y rendimiento al inicio de la producción, en este invernadero fue en donde se tuvo la menor HR, aunado a la mayor temperatura ambiental que también presentó fue en parte lo que redujo la floración y fructificación. Aunque en el invernadero cubierto con la película CIQA y en la Malla Sombra no había más de 10% de diferencia en HR con respecto al invernadero con cubierta Comercial, esta pequeña diferencia en HR en conjunto con 3 o 4 grados menos de temperatura si tuvieron un efecto considerable sobre la productividad del cultivo de tomate tipo uva.

Un problema que se presentó en la Malla Sombra es que aunque se puede tener HR buena para el cultivo, cuando hay precipitaciones el agua penetra hasta el cultivo incrementando considerablemente la HR y agua en el follaje y esto causó mayor presencia de enfermedades que no se pudieron controlar y que deterioraron al cultivo, decayendo y terminando su cosecha cuatro cortes antes que en los dos invernaderos con cubierta plástica. En el invernadero Comercial aunque la HR no fue óptima, la planta siguió produciendo y se mejoró incluso en Septiembre cuando la trasmisión de la

radiación bajo y la temperatura se moduló mas, y en el invernadero con película CIQA la HR estuvo en el límite inferior, manteniendo buena su producción y sin presentar enfermedades por las lluvias. También se debe tener en cuenta que los invernaderos y la Malla sombra son de baja tecnología y que esto influyó en que no se lograran los valores óptimos de HR que mencionan Bautista y Alvarado (2006) ya que este parámetro se logra con la utilización de nebulizadores o con paredes húmedas.

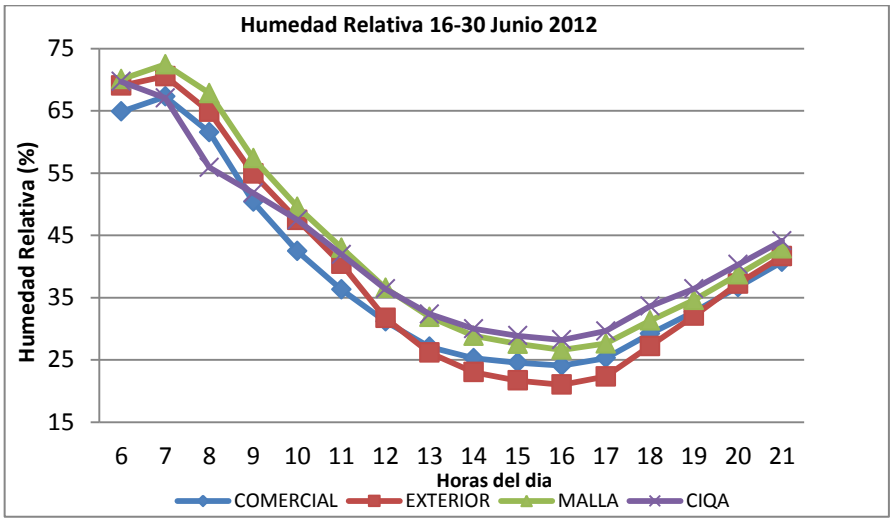

Figura 48. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 30 de Junio en el cultivo, en los diferentes invernaderos y exterior

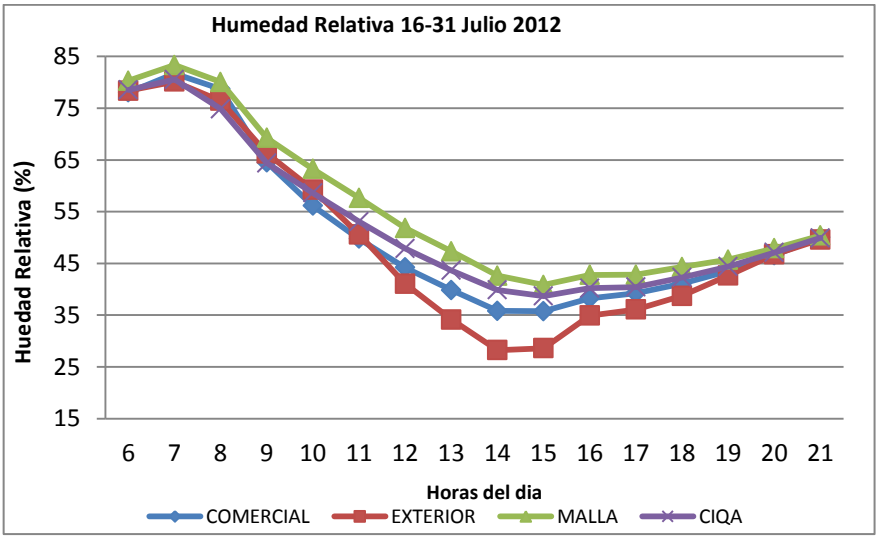

Figura 49. Humedad Relativa horarias del 16 al 31 de Julio en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior

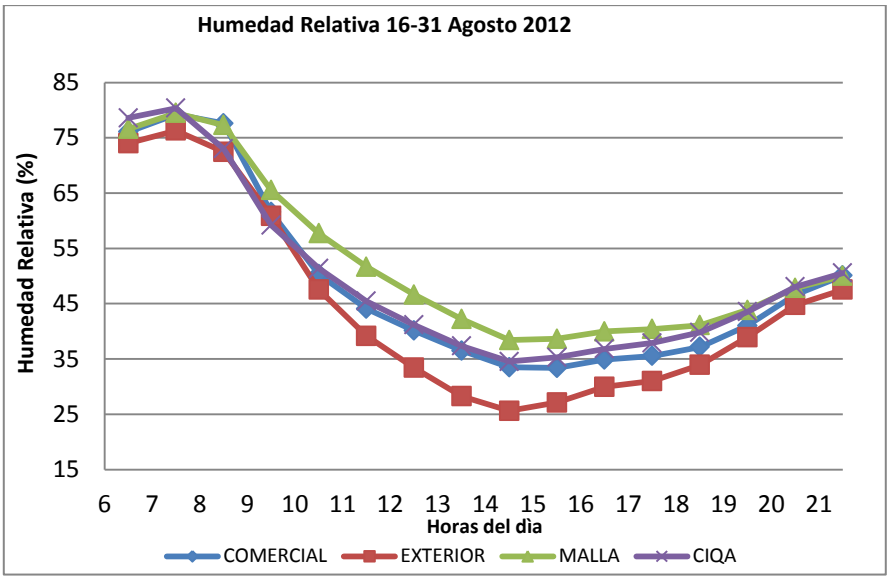

Figura 50. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 31de Agosto en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior

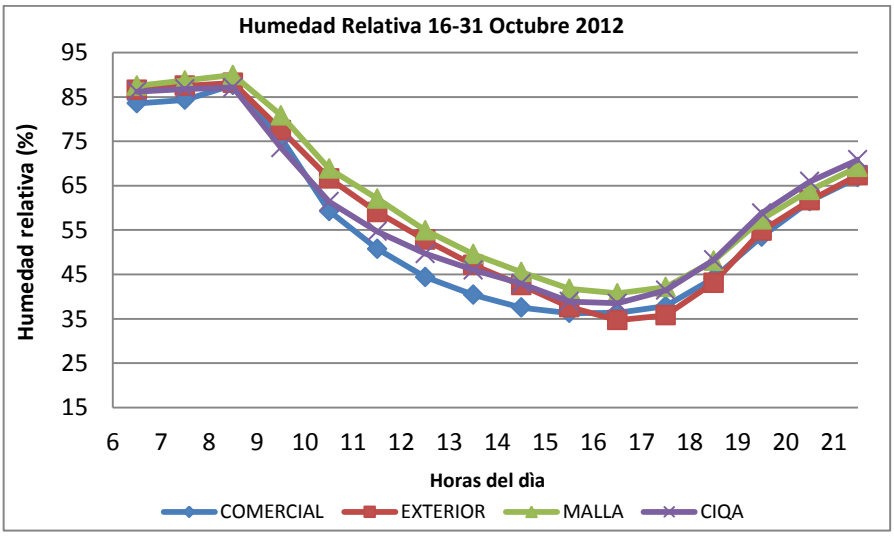

Figura 51. Humedad Relativa horarias medias del 16 al 31 de Octubre en el cultivo en los diferentes invernaderos y exterior

4.5.5 Comparación de Déficit de Presión de Vapor en los Microambientes Evaluados

El déficit de presión de vapor en cualquier ambiente es el resultado de la combinación de la Temperatura ambiental y la Humedad Relativa y es un factor primordial en la respuesta fisiológica de los cultivos, ya que está estrechamente relacionado con la fotosíntesis, transpiración y regulación de la temperatura en la planta. En los Cuadros 18

y 19 se observan las comparaciones de medias del DPV de los tratamientos, tanto del DPV medio horario de cada mes, como el DPV medio máximo presentado de la una a las tres P.M. El análisis de media muestra que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos casi durante todos los meses, tanto para las medias horarias como para las medias máximas. En el mes de Junio Figura 52 cuando inició el cultivo fue cuando los valores de las medias fueron mas altos, el déficit de presión de vapor medio diario en el exterior y en el invernaderos con película Comercial anduvo en 2.2 Kpa, mientras que en el invernadero con cubierta CIQA y Malla Sombra estuvo en valores de 1.9Kpa (Cuadro 18) pero en este mismo mes los valores máximos de DPV fueron mayores de 3 Kpa y de 2.5 respectivamente (Cuadro 19), sin embargo en la Figura 53 se pueden observar valores de hasta 4.5 y 3.2 KPa en el exterior y en la película Comercial mientras que en el invernadero con película CIQA y Malla Sombra no sobrepasaron los 3 Kpa, esto en el mes de Agosto.

Los valores medios y máximos mensuales del DPV en los siguientes meses fueron disminuyendo (Cuadro 18 y 19), esto debido al incremento principalmente en la humedad relativa por efecto de transpiración del cultivo ya que las temperaturas siguieron altas por al menos dos meses más, y en los últimos dos meses Septiembre y Octubre (Figura 54) por efecto de las lluvias y por la disminución de la temperatura ambiental exterior el DPV disminuyó en todos los tratamientos. Los DPV mas adecuados para el cultivo se presentaron siempre en el invernadero con cubierta CIQA y en la Malla Sombra lo que se reflejó en menor estrés de las plantas desde el trasplante y en la mayor productividad y calidad de la producción, este ambiente más propicio se atribuye en gran medida a las características ópticas de las cubiertas, principalmente modulación en la trasmisión de PAR y mayor difusión en la película CIQA con respecto a la película Comercial y mayor ventilación en la Malla Sombra.

Magan *et, al.* (2007), compararon la producción de tomate en invernaderos tipo venlo y multitunel, encontrando que la mejor producción se encontró en el invernadero multitunel y este tenía valores de DPV que oscilaban de 1.5 Kpa a 3 Kpa y este resultado fue muy similar a los obtenidos en el invernadero con película CIQA y en la Malla Sombra.

Cuadro 18. Comparación de medias de Déficit de Presión de Vapor, Medias Mensuales (6 A.M. a 9 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	1.916 b	1.625 b	1.763 b	1.386 ab	1.396 a
COMERCIAL	2.236 a	1.772 ab	1.842 b	1.549 a	1.570 a
MALLA	1.904 b	1.510 b	1.653 b	1.257 b	1.324 a
EXTERIOR	2.254 a	1.919 a	2.480 a	1.558 a	1.540 a
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	NS

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

Cuadro 19. Comparación de medias de Déficit de Presión de Vapor Medias Máximas (1P.M. a 3 P.M.) en los diferentes invernaderos y en el exterior

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
CIQA	2.578 b	2.131bc	2.318 b	1.880 abc	2.012 abc
COMERCIAL	3.182 a	2.459 ab	2.553 b	2.257 ab	2.387 ab
MALLA	2.611 b	1.896 c	2.118 b	1.671 c	1.841 c
EXTERIOR	3.404 a	2.840 a	4.193 a	2.254 ab	2.233 bc
SIGNIFICANCIA	*	*	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, NS: No Significativo.

Las medias mensuales de los diferenciales de DPV en los invernaderos con cubierta Comercial, CIQA y Malla Sombra con respecto al exterior, considerando desde las seis de la mañana hasta las nueve de la noche se muestran en el Cuadro 20, donde se observa como todos los tratamientos tuvieron diferenciales negativos, es decir que el DPV se mantuvo por debajo del DPV del exterior. Sin embargo el menor DPV observado a lo largo del experimento fue en la Malla Sombra debido a que tuvo valores más altos de HR que los demás tratamientos combinado con una temperatura menor. Esta condición ambiental en la Malla Sombra impactó positivamente los procesos fisiológicos de la planta y a la producción inicial, pero aun así con buenas condiciones ambientales por las características de la Malla Sombra cuando inició el período de lluvias permitió el paso de la lluvia y el follaje se mojaba, además de que había libre paso de plagas como mosquita blanca por lo que el cultivo resulto enfermo terminándose su producción cuatro semanas antes que en los demás invernaderos afectando su producción final.

Cuadro 20. Medias (10 AM a 5 P.M.) del diferencial de déficit de presión de vapor (KPa) con respecto al exterior a través del tiempo, en invernaderos con diferentes cubiertas en el cultivo de Tomate Cherry Tipo Uva

Meses	Periodo	Diferencial promedio DPV (KPa)		
		COMERCIAL	MALLA	CIQA
Junio	16 a 30	-0.06	-0.41	-0.39
Julio	1 a 15	-0.04	-0.36	-0.29
	16 a 31	-0.28	-0.52	-0.39
Agosto	1 a 15	-0.65	-0.84	-0.74
	16 a 30	-0.30	-0.59	-0.41
Septiembre	1 a 15	-0.15	-0.42	-0.26
	16 a 30	0.02	-0.23	-0.14
Octubre	1 a 15	-0.02	-0.19	-0.18
	16 a 30	0.03	-0.21	-0.11

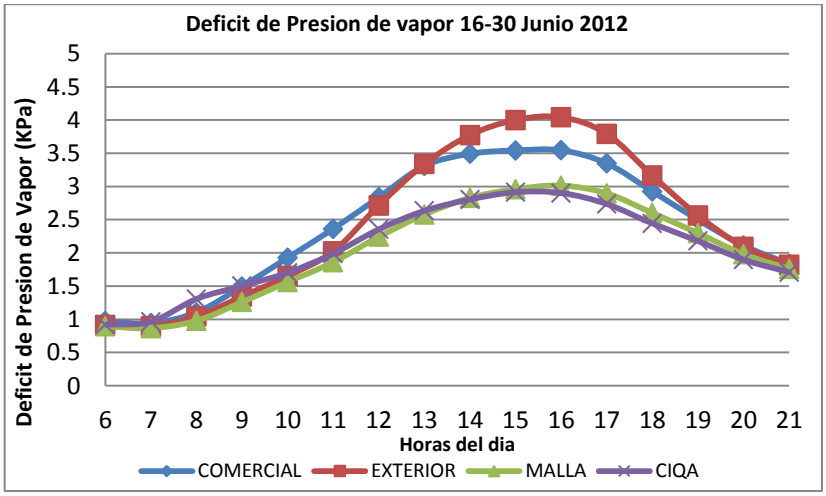

Figura 52. Déficit de Presión de Vapor promedio horario 16 a 30 Junio 2012

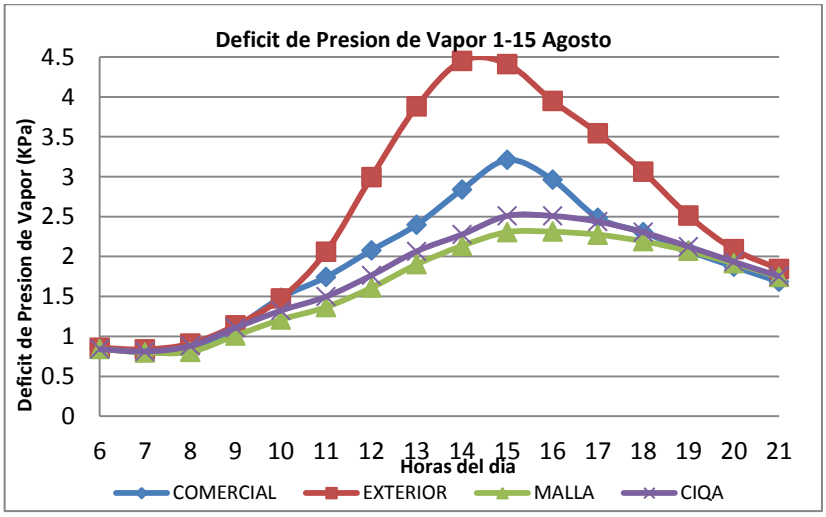

Figura 53. Déficit de Presión de Vapor promedio horario 1 al 15 de Agosto 2012

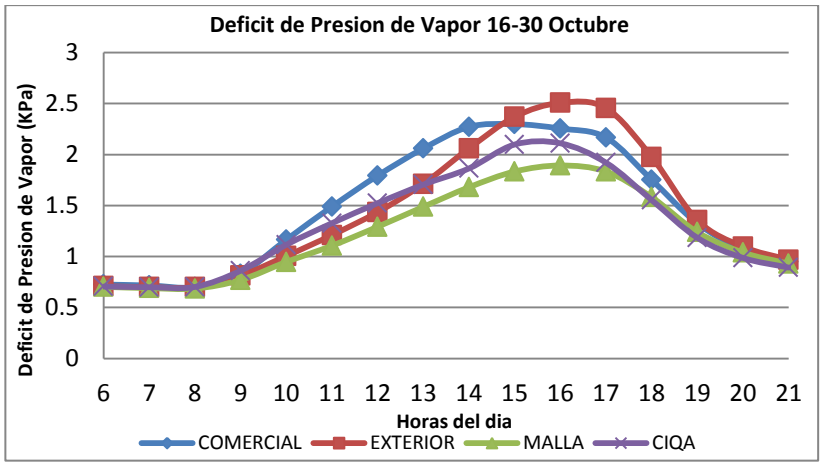

Figura 54. Déficit de Presión de Vapor horario 16 al 30 Octubre 2012

4.6 Correlaciones Entre Radiación PAR y Factores Ambientales

Para ver el efecto que la radiación PAR incidente tiene en los diferentes ambientes de invernadero se realizaron una serie de correlaciones de la radiación PAR con temperatura ambiental, humedad relativa y déficit de presión de vapor, en los períodos iniciales, medio y finales del desarrollo del cultivo.

4.6.1 Correlaciones Entre Radiación PAR y Temperatura Ambiental

En las Figuras 55, 56 y 57 a, b, c, d se pueden observar las correlaciones entre la radiación y la temperatura en Junio, Agosto y Octubre, los resultados muestran que hay una correlación directa entre la radiación y la temperatura con R^2 de entre 0.5 y 0.7. La correlación en el exterior y en el invernadero con cubierta comercial que es mas transparente a la radiación es muy parecida, y a su vez la correlación entre la Malla Sombra y el invernadero con cubierta CIQA son más parecidos entre sí pero con un comportamiento diferente al exterior e invernadero con cubierta Comercial. Una de las cosas mas importantes que se ven en las correlaciones es que en las cubiertas que tienen mayor bloqueo a la trasmisión de la PAR como en la Malla Sombra e invernadero con cubierta CIQA, el número de horas donde alcanzan temperaturas mas altas es menor con respecto al exterior y al invernadero con la cubierta mas transparente al PAR. Mientras en el exterior y en el invernadero con la cubierta mas transparente se tienen

hasta siete horas con temperaturas cercanas a los 40 grados centígrados, en los invernaderos con la cubierta CIQA y con la Malla Sombra solo son tres a cuatro horas las que alcanzan temperaturas más altas pero sin llegar a los 40 grados centígrados. El período más crítico fue en Agosto, aunque durante todo el tiempo el comportamiento es muy parecido. De acuerdo a los resultados se puede deducir, que las propiedades ópticas de las películas, tanto la trasmisión al PAR así como los bloqueos al UV y al NIR y la difusividad de las cubiertas influyen para lograr una mejor modulación en microambiente de los invernaderos, o para agravar las condiciones ambientales y esto tiene un impacto muy importante en la productividad y calidad de la producción. Esto fue demostrado por Quezada y colaboradores (2011) en estudios con diferentes películas para invernadero, donde se llegó a la conclusión de que la radiación en forma difusa y menor trasmisión de radiación UV y NIR permite que los invernaderos con este tipo de cubiertas se mantengan más frescas y no necesariamente los cultivos necesitan toda la radiación PAR sobre todo en regiones de muy alta radiación solar, Estudios realizados por Tartachnyk y Blankc (2007) en Alemania mencionan que en tomate los puntos de compensación de la luz son muy bajos, entre 26 y 80 µmol $m^{-2} \cdot s^{-1}$ de radiación PAR. Midiendo la asimilación de CO_2 en varios niveles de radiación: 255, 600 y 700 µmol $m^{-2} \cdot s^{-1}$ de PAR obtuvieron 8.3, 8.9 y 7.2 µmol CO_2 $m^{-2} \cdot s^{-1}$ respectivamente, lo que muestra que no necesariamente mayor radiación PAR se traduce en mayor fotosíntesis de las plantas. Por el contrario radiaciones excesivas como las encontradas en el invernadero cubierto con la película comercial aunada a las altas temperaturas causan una fotohinibición y fotorespiración que afectan negativamente el desarrollo del cultivo de acuerdo a Nobel (2009).

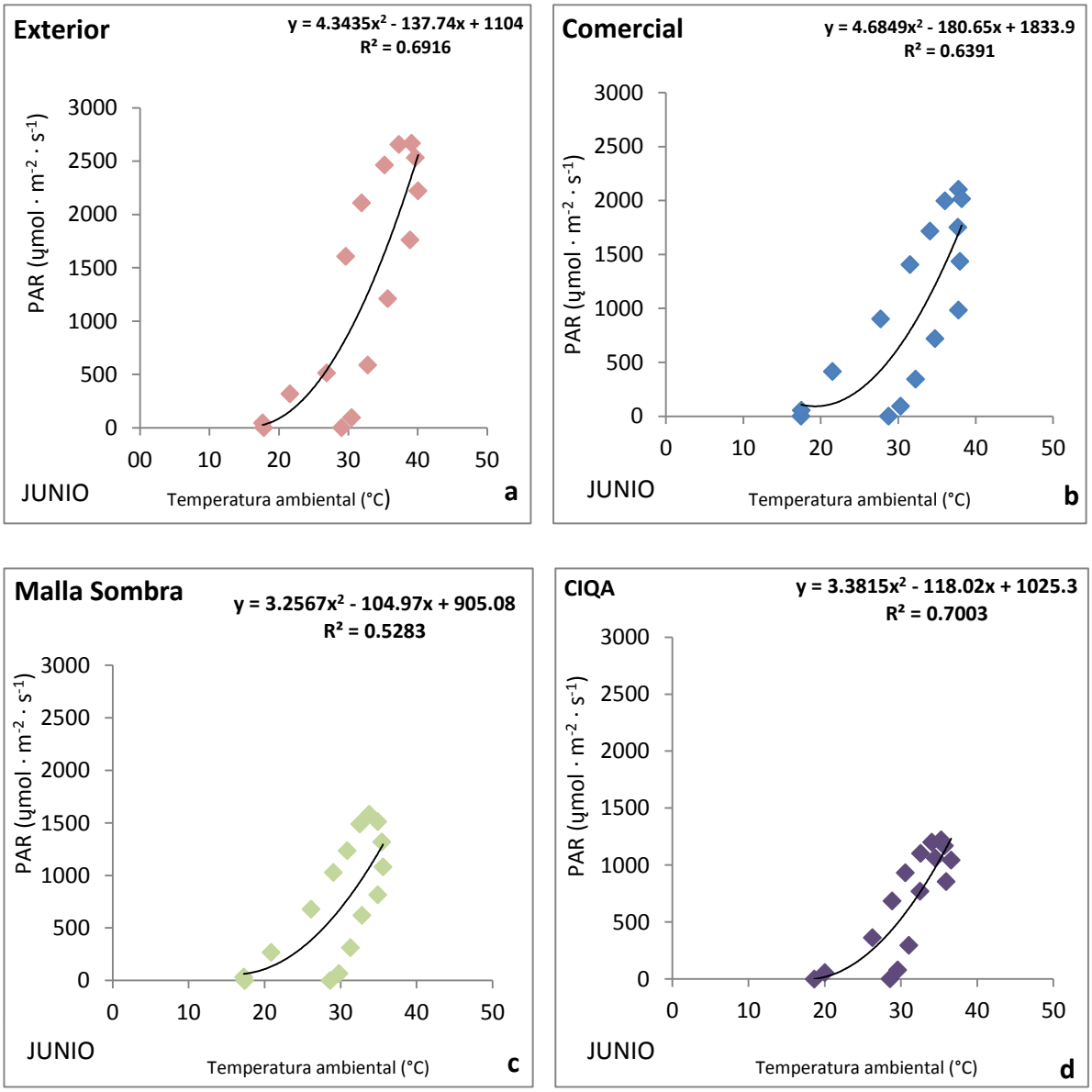

Figura 55. Correlación entre la Radiación PAR y la Temperatura en el mes de Junio 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

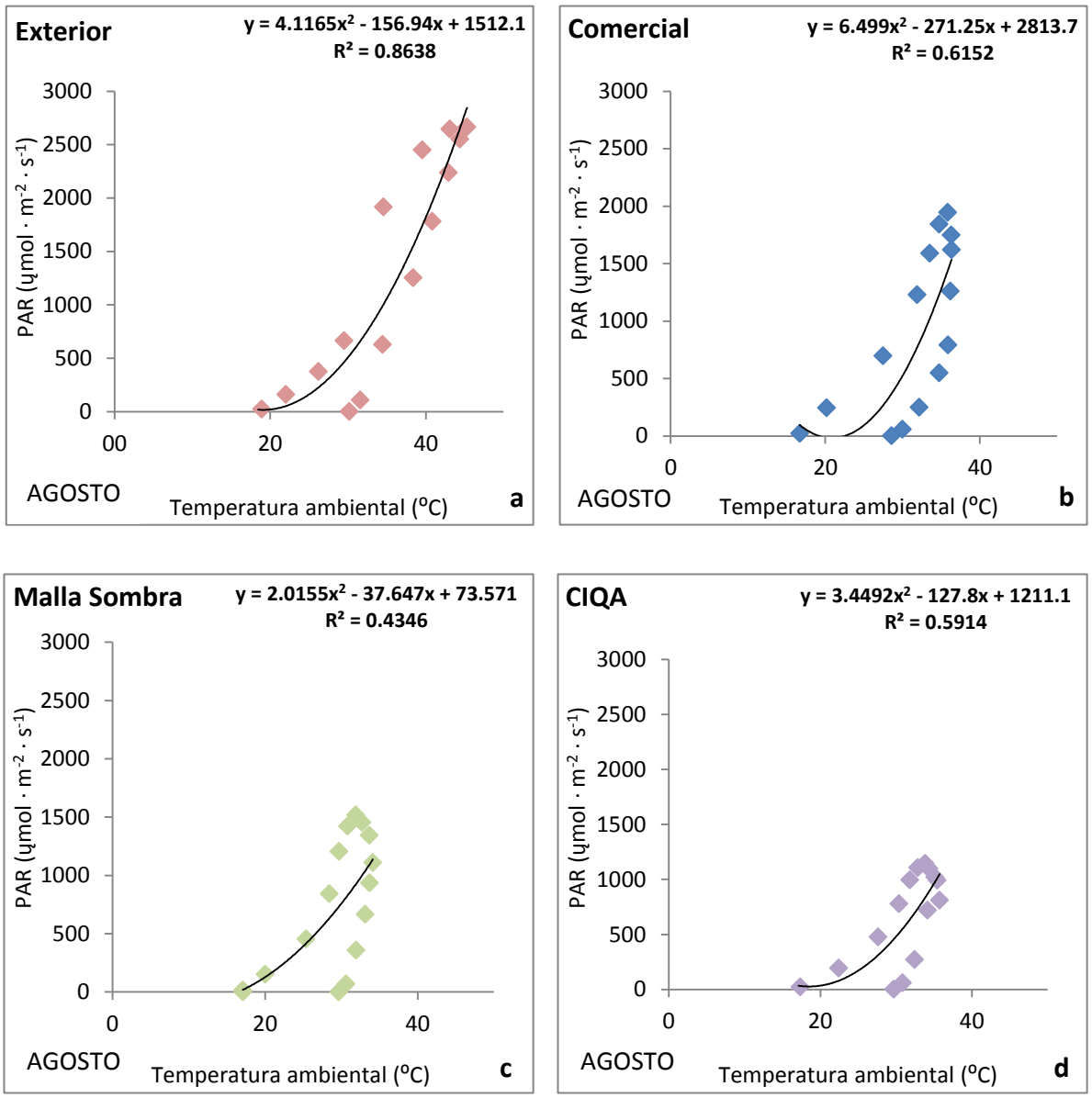

Figura 56. Correlación entre la Radiación PAR y la Temperatura en el mes de Agosto del 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

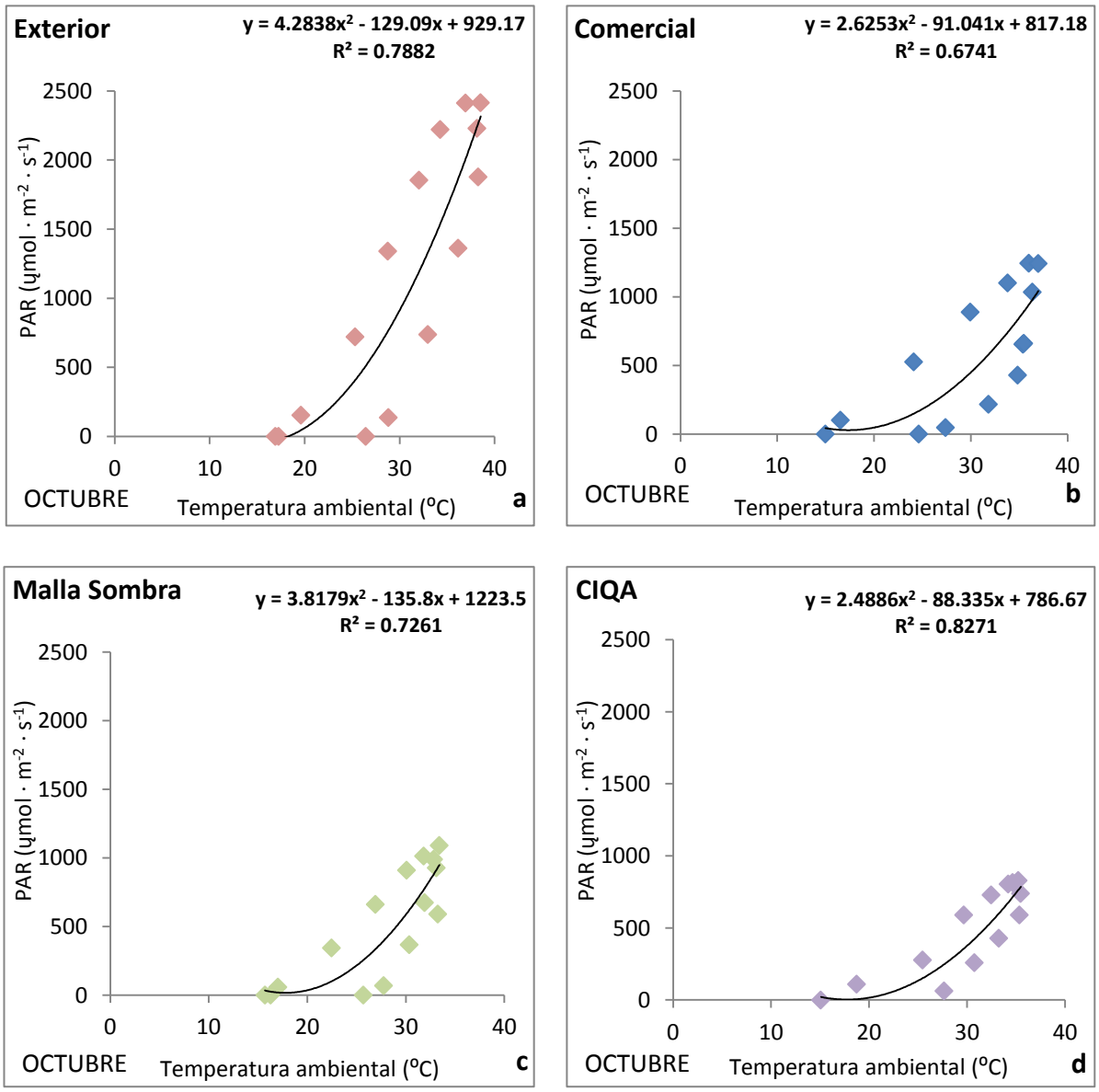

Figura 57. Correlación entre la Radiación PAR y la Temperatura en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

4.6.2 Correlaciones Entre Radiación PAR y Humedad Relativa

En las Figuras 58, 59 y 60 a, b, c, d se pueden observar las correlaciones entre la radiación PAR y la humedad relativa en tres períodos: Junio, Agosto y Octubre, los resultados muestran que hay una correlación inversa entre la radiación y la HR con un R^2 menor de 0.5 en todos los invernaderos independientemente del tipo de cubierta y la correlación en el exterior si es mas significativa, con valores de entre 0.5 y 0.7 de acuerdo al período evaluado. Se observa claramente que a mayor radiación PAR menor HR y en todos los tratamientos se tienen la misma tendencia. Lo ideal sería que la tendencia de la correlación fuera horizontal lo que significaría una independencia de la HR con respecto a la radiación, manteniéndose más constante la HR a lo largo del día y en valores entre 50 y 70 % que son los ideales para el tomate de acuerdo a Bautista y Alvarado (2006). Este comportamiento más agrupado de la HR con respecto a la Radiación PAR se observa mas en los invernaderos cubiertos con la Malla Sombra y con la película CIQA, aunque no en los niveles más adecuados para el cultivo, tomando también en cuenta que los invernaderos y Malla Sombra eran muy rústicos sin aportaciones extras de humedad. Haciendo la comparación entre la correlación existente entre la PAR y la HR en el exterior con las correlaciones en los invernaderos se observa que se rompe en cierta medida con la tendencia que en el exterior se presenta y esto es debido al tipo de cubierta que se utiliza, ya que la modificación mayor en cuanto al número de horas con HR mas baja fue en la cubierta más transparente, donde hay más paso de PAR y más altas temperaturas, parecido al exterior, con respecto a la Malla Sombra e invernadero con cubierta CIQA donde hubo menos horas con HR parecidas al exterior y al invernadero con cubierta Comercial.

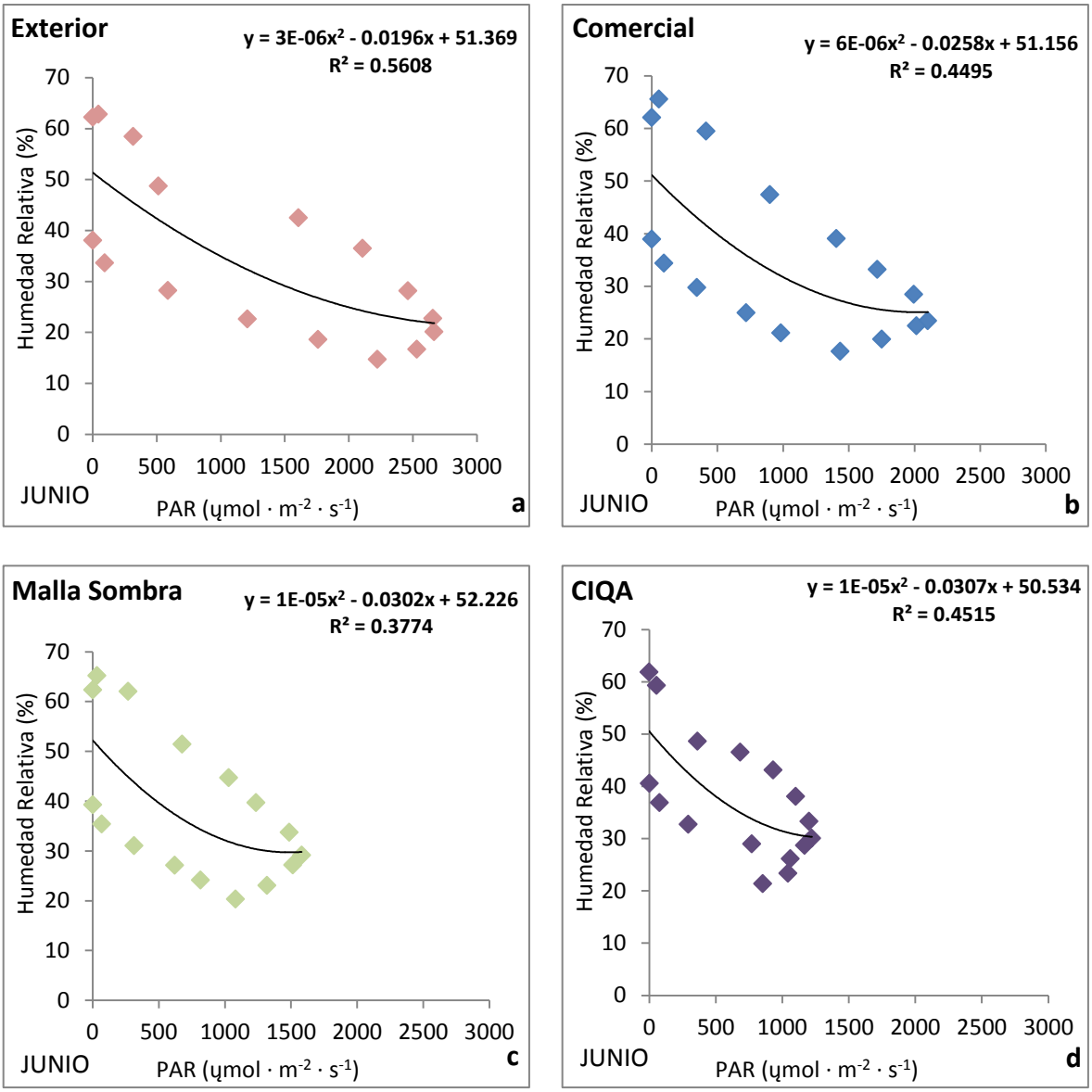

Figura 58. Correlación entre la Radiación PAR y la Humedad Relativa en el mes de Junio 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

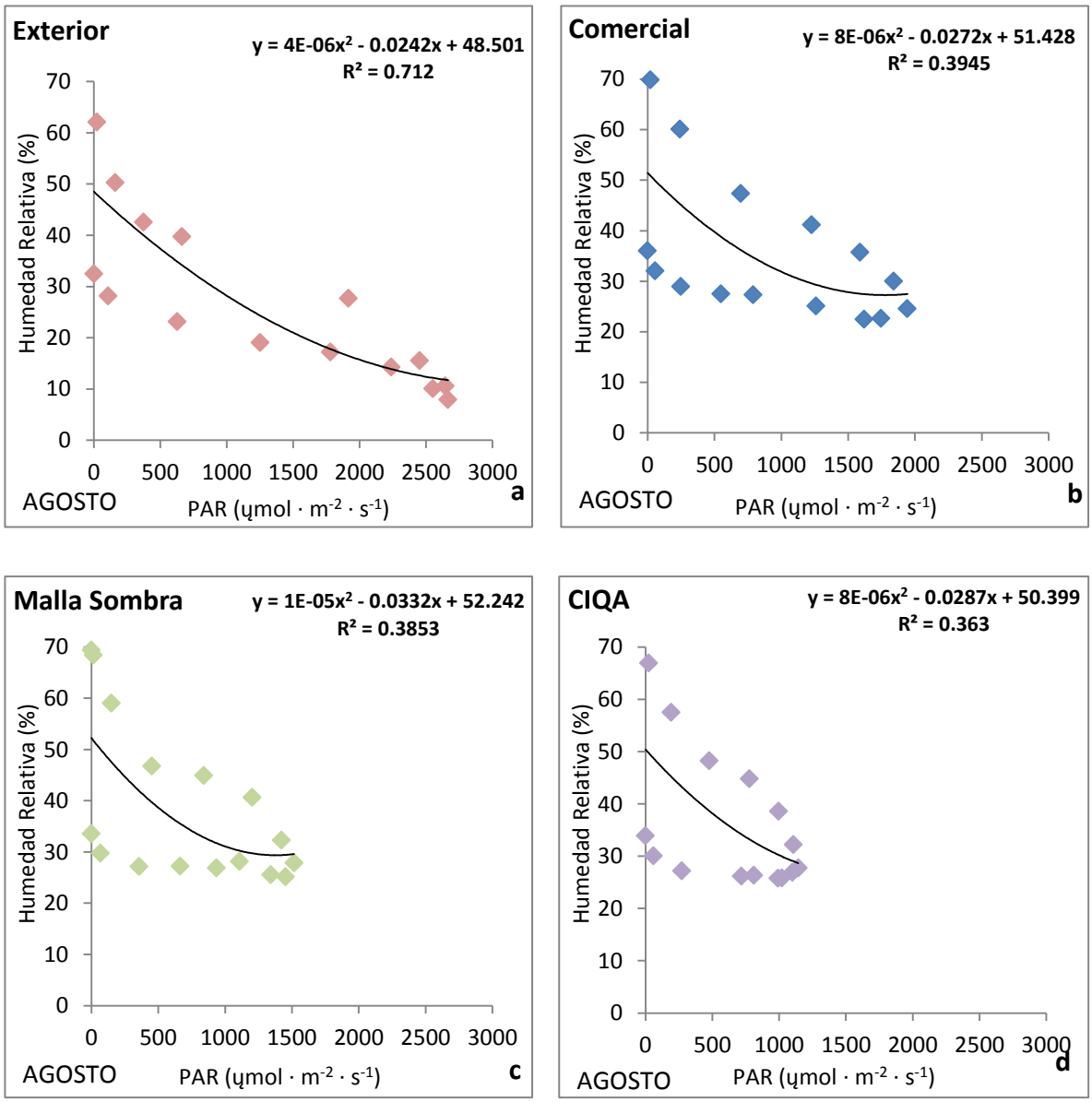

Figura 59. Correlación entre la Radiación PAR y la Humedad Relativa en el mes de Agosto de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

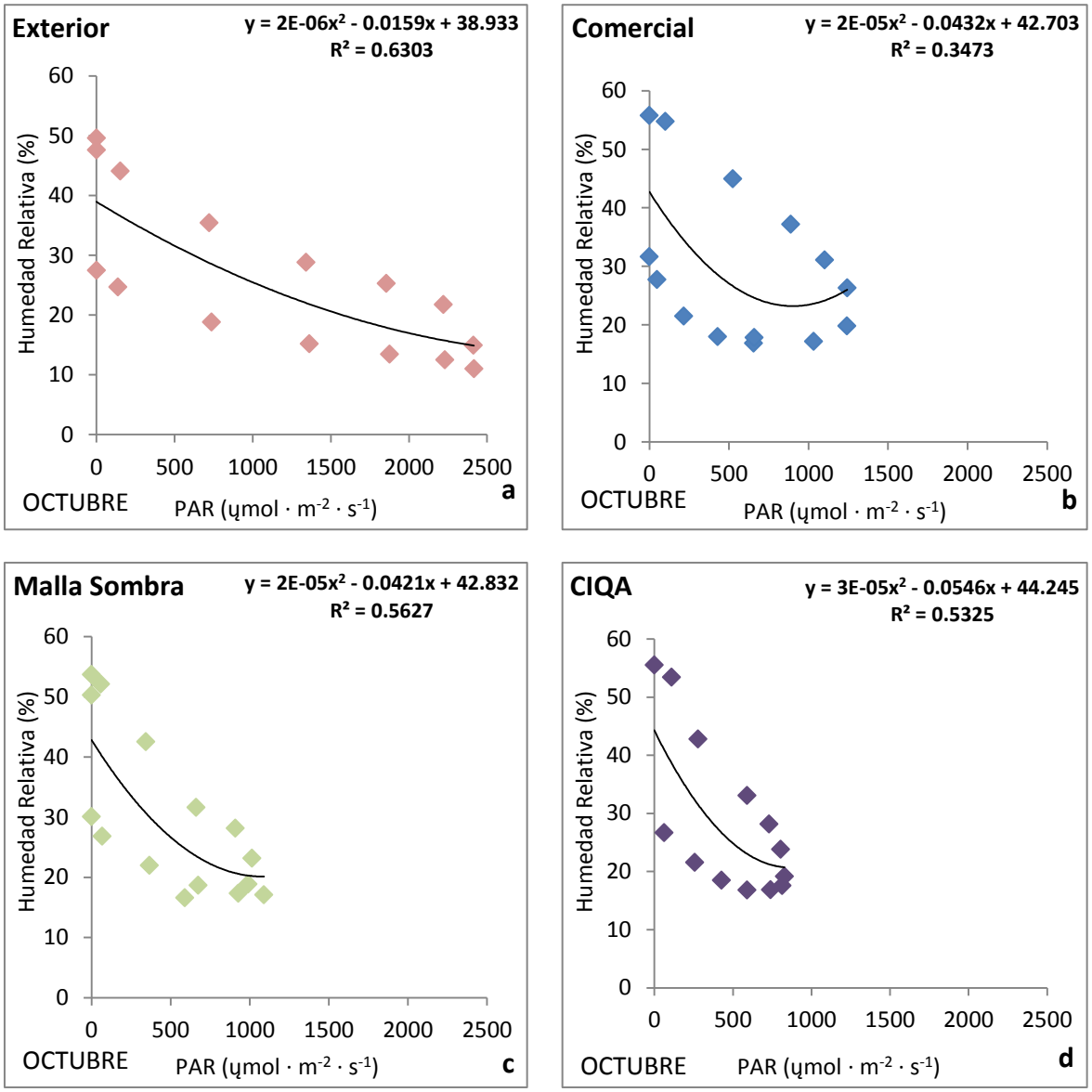

Figura 60. Correlación entre la Radiación PAR y la Humedad Relativa en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

4.6.3 Correlaciones entre Radiación PAR y Déficit de Presión de Vapor

En cuanto a la correlación de la radiación PAR con el déficit de presión de vapor las Figuras 61, 62 y 63 a, b, c, d; se observa que hay una relación directa entre la PAR y el DPV, esta correlación es significativa en el ambiente exterior con valores de R^2 de 0.6 a 0.8 dependiendo del período de evaluación y con DPV de mas de 7 kPa con radiaciones PAR de mas de 2500 µmol $m^{-2}.seg^{-1}$, la tendencia en el invernadero con cubierta Comercial al inicio del cultivo, solo en el mes de Junio es parecida a la tendencia en el ambiente exterior pero no en los meses posteriores. Sin embargo las R^2 en las correlaciones en todos los invernaderos son inferiores a 0.5 lo que indica en cierta forma que se rompe la relación normal que existe en la referencia exterior, sobre todo en los invernaderos con cubierta CIQA y con Malla Sombra. Esta modificación de la relación entre la PAR y el DVP en los invernaderos es buena ya que demuestra que al modificar las propiedades ópticas de las cubiertas se modifican las condiciones micro ambientales en las cuales se desarrollan los cultivos, en el caso de los invernaderos con cubierta CIQA y Malla Sombra para bien del cultivo, pero en el caso de la cubierta Comercial las propiedades ópticas no fueron las adecuadas causando condiciones de mas estrés para el cultivo ya que se tuvieron DPV de mas de 4 kPa. La correlación entre la PAR y el DPV aunque es directamente proporcional es dependiente mas de la relación que existe entre la PAR con la temperatura y humedad relativa ya que el DVP es resultado de la combinación inversa de la temperatura con la Humedad relativa, a mayor temperatura y menor HR Mayor es el DPV y por el contrario a menor temperatura y mayor HR es menor el DPV. Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con los resultados mencionados por Tartachnyk y Blanke (2007) en evaluaciones realizadas en el cultivo de tomate en invernadero donde a temperaturas bajas (14 a 22 grados centígrados) y radiaciones menores a los 700 µmol·m^{-2}·seg^{-1} tienen valores de DPV de 0.6 a 1.4 KPa valores muy bajos de DPV llegan a ser limitantes también para la absorción de CO_2 ya que a muy bajos DPV cierran las plantas los estomas y limitan el flujo de CO_2 para la fotosíntesis y la absorción de nutrimentos. De acuerdo a Magan *et, al.* (2007) los valores más adecuados de DPV para el cultivo de tomate son entre 1.5 y 3 KPa, mas parecidos a los obtenidos en este trabajo en los invernaderos con cubierta CIQA y Malla Sombra en donde la respuesta del cultivo fue mejor.

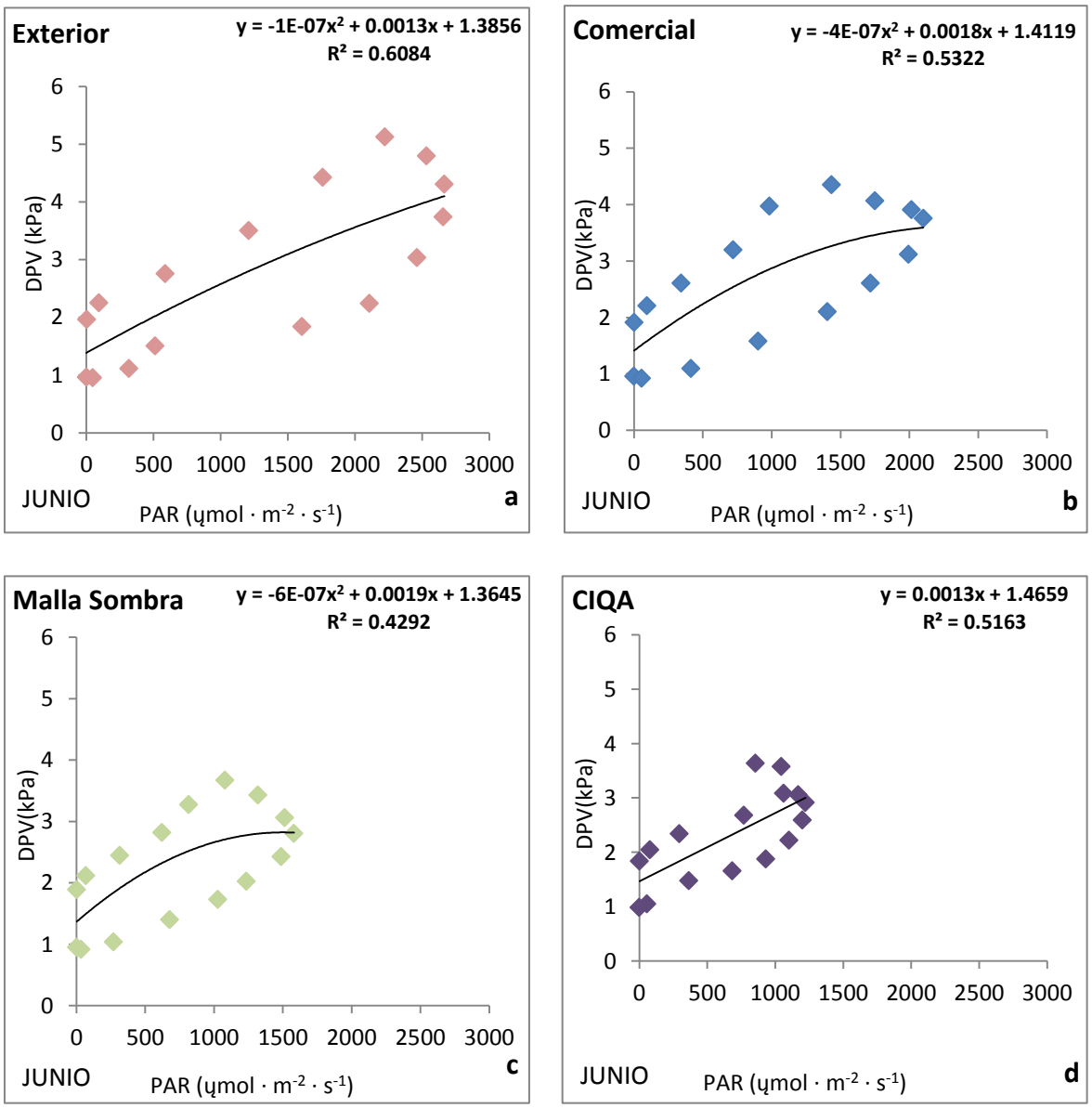

Figura 61. Correlación entre Radiación PAR y el Déficit de Presión de Vapor en el mes de Junio de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

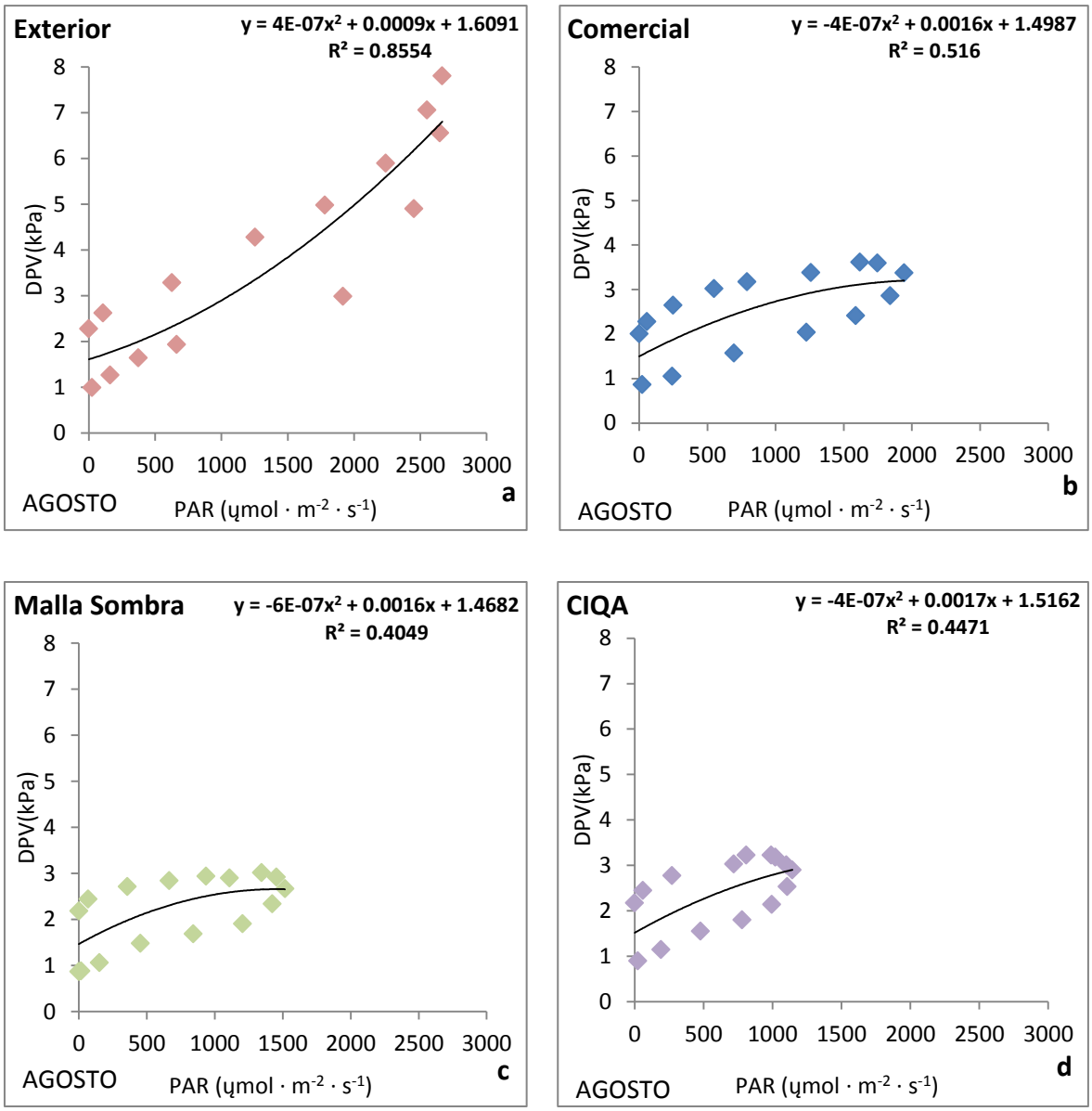

Figura 62. Correlación entre la Radiación PAR y el Déficit de Presión de Vapor en el mes de Agosto de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

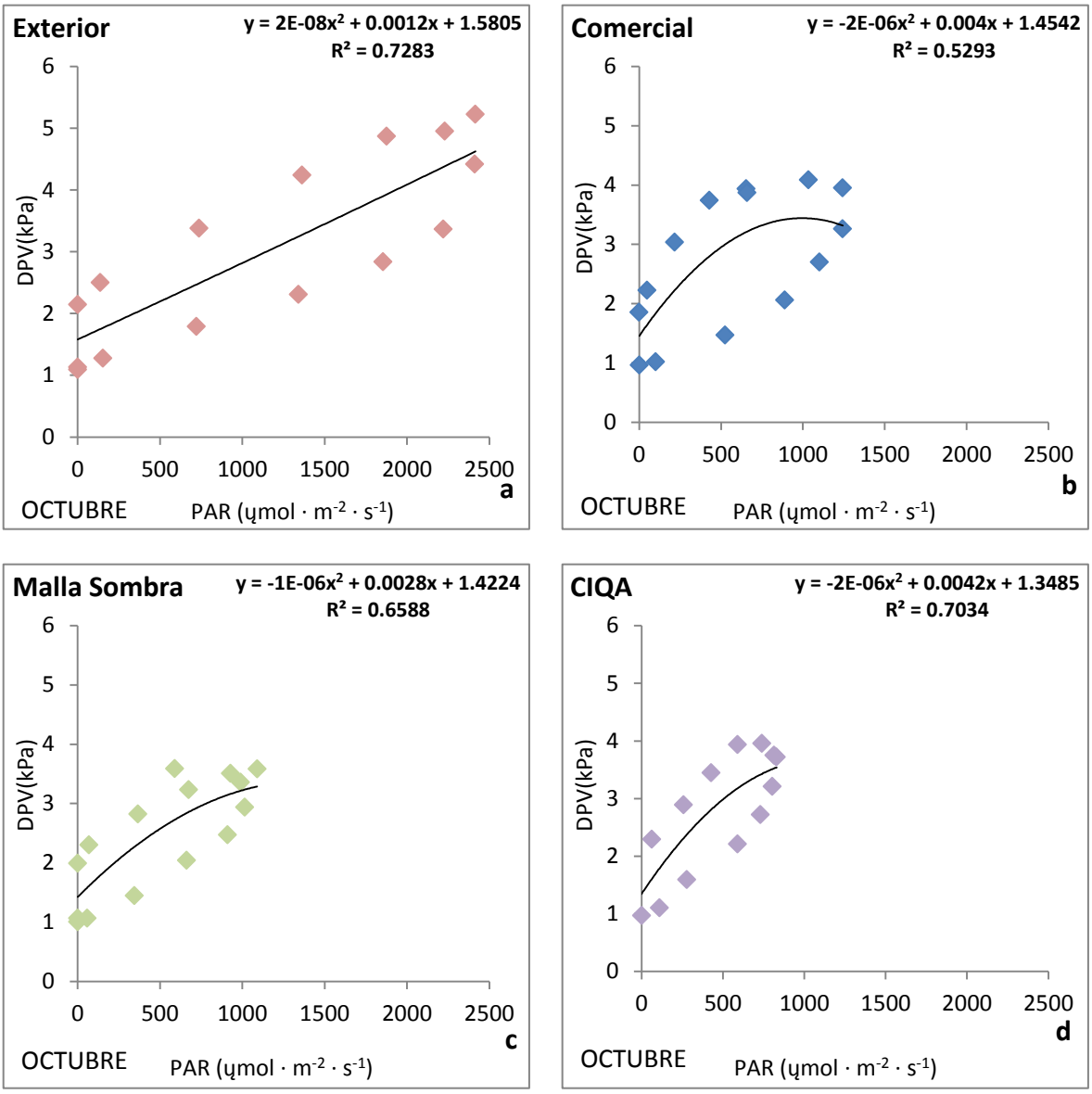

Figura 63. Correlación entre la Radiación PAR y el Déficit de Presión de Vapor en el mes de Octubre de 2012 en los invernaderos con diferentes cubiertas y su referencia exterior: a) Exterior, b) película Comercial, c) Malla Sombra y d) película CIQA

4.7 Rendimiento, Numero de Frutos y Peso Medio de Fruto de Tomate Cherry Tipo Uva en los Diferentes Ambientes

En el Cuadro 21 se muestra el rendimiento total y número de frutos por hectárea, así como la calidad del fruto medido en peso medio por fruto de Tomate cherry tipo uva en los tratamientos de invernadero con diferentes cubiertas. Los análisis de varianza y comparación de medias muestran que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, observándose que el rendimiento mayor se tuvo en el invernadero con la cubierta CIQA, con 35 % más que en la película con cubierta Comercial y 38 % más que en la Malla Sombra. El rendimiento en la Malla Sombra e invernadero Comercial fueron estadísticamente iguales, solo con 3 % más en el invernadero Comercial con respecto a la Malla Sombra.

En cuanto a número de frutos (Cuadro 21) también fue significativamente diferente, la mayor cantidad de frutos por hectárea también se tuvieron en el invernadero con cubierta CIQA con 20% mas que en el invernadero Comercial y 36.6 % mas que en la Malla Sombra

Sin embargo cuando observamos el peso medio de frutos (Cuadro 21), que es un indicativo de calidad de la producción se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos, pero los frutos de menor peso y por lo tanto menor tamaño se tuvieron en el invernadero con cubierta Comercial y los de mayor peso y tamaño en el invernadero CIQA y Malla Sombra siendo estos dos estadísticamente iguales.

Los resultados de mejor rendimiento y calidad en el invernadero con cubierta CIQA se atribuyen a que en este invernadero, por las características ópticas y refrescantes de la película se crearon en el invernadero mejores condiciones ambientales para un mejor desarrollo y productividad de las plantas. Sin embargo aunque en el invernadero cubierto con la Malla Sombra se tuvieron las mismas condiciones ambientales que en el invernadero CIQA y mejores que en el Comercial, por las características de la Malla como ya se había mencionado anteriormente no se tenía control sobre la lluvia y flujo de insectos vectores de enfermedades que causaron que las plantas se enfermaran más que en los otros dos invernaderos cubiertos con película plástica y por lo tanto el cultivo terminó tres semanas antes que en los otros invernaderos y esto por lo tanto afectó al rendimiento y número de frutos, pero no a la calidad del fruto. Por otro lado los menores rendimientos y menor peso medio de frutos en la película Comercial se atribuyen a las condiciones ambientales más estresantes para el cultivo como se mostró

anteriormente. Los resultados si demuestran que si se modulan las condiciones ambientales del cultivo, esto repercute directamente en mejor rendimiento y calidad de la producción.

En estudios realizados por González (2010) en el cultivo de calabacita en micro túneles con cubiertas con nano partículas de zinc difusas y no difusas se menciona que los rendimientos fueron mayores bajo las cubiertas con difusión de luz que donde no se tenía difusión. Así mismo en evaluaciones en el cultivo de pepino en invernaderos con cubiertas con características ópticas de difusión, disminución de PAR y bloqueo NIR contra películas sin bloque NIR y sin difusión y mayor trasmisión de PAR, los rendimientos y tamaño de fruto fueron considerablemente mayores donde se reducía la radiación, y NIR pero con mayor difusión de luz (Contreras 2011). Resultados similares de mayor rendimiento y calidad de frutos en invernaderos y túneles cubiertos con películas con radiaciones fotosintéticas menores de 1200 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot seg^{-1}$, pero con características difusas y refrescantes han sido reportados por Quezada y colaboradores (2011) y Tartachnyk y Blankc (2007).

Cuadro 21. Rendimiento, número de frutos y peso medio de fruto de Tomate cherry tipo uva en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas

Tratamiento	Rendimiento total ($t \cdot ha^{-1}$)	Número de frutos	Peso medio de fruto (gr)
Invernadero cubierta CIQA	76.78 a	11,924,150 a	6.43 a
Invernadero cubierta Comercial	56.97 b	9,877,530 b	5.76 b
Invernadero Malla Sombra	55.52 b	8,724,959 b	6.36 a
Significancia	*	*	*

NOTA: Medias seguidas por letras diferentes determinan diferencia significativa entre tratamientos.
(*)= 0.05, No Significativo.

V. CONCLUSIONES

- La película CIQA presentó el mayor bloqueo de radiación frente a la Malla sombra y la película Comercial debido a la propiedad óptica de difusión, lo que fomentó un buen ambiente desde el principio del experimento y "amarre" de la plántula.

- La película CIQA presentó muy buena modulación de la temperatura por el buen bloqueo de radiación NIR y UV y mayor difusión, a pesar de no tener la misma ventilación que la Malla sombra.

- La Humedad Relativa dentro del invernadero con película CIQA se mantuvo en un rango relativamente mas óptimo, sin aumentarla por causa de lluvias como en el caso de la Malla sombra ni disminuyéndola demasiado como en el invernadero con película Comercial como para afectar la polinización y la producción del cultivo.

- El Déficit de Presión de Vapor en el invernadero con película CIQA se mantuvo dentro de los rangos de 1.5 KPa a 3 KPa sin llegar a los limites superiores como el invernadero con película Comercial y no llegando a los limites inferiores como en la Malla sombra.

- El invernadero con película CIQA moduló mejor los factores de Radiación, Temperatura, Humedad Relativa y DPV que en el invernadero con película Comercial y similar a la Malla sombra, manteniendo los factores antes mencionados dentro de los límites permitidos por el cultivo y por más horas en el día.

- La producción de Tomate Cherry tipo uva en el invernadero con película CIQA fue mucho mejor que en el invernadero con película Comercial y la Malla sombra debido al control de los factores ambientales antes mencionados, aumentando 25.80 % mas la producción que el invernadero Comercial y 27.68 % con respecto a la Malla Sombra.

VI. BIBLIOGRAFIA

Alpi, A. y Tognoni, F. (1991). Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica 3ª. Ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343 p.

Arellano, G. M. A.; Quezada, M. R. (2013). Platica sobre selección de películas plásticas para climas cálidos y manejo agronómico del cultivo de tomate. CIQA, México.

Arellano, G. M. A.; Valera, M. D. L.; Urrestarazu, G. M.; García, G. S.; Sánchez, S. A. y Soria, R. J. (2006), Estudio del microclima en dos subtipos de invernaderos Almería, *Agricultura técnica en México.* (32):225-234.

Ayala-Tafoya. F.; Zatarain-Lopez. L. D. M.; Valenzuela-López. L. M.; Partida-Ruvalcaba. R. L.; Velázquez-Alcaraz. A. T. J.; Díaz-Valdez. T. y Osuna-Sánchez. J. A. (2011). Crecimiento y rendimiento en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra, *Terra Latinoamericana*, Vol. 29, No. 4 pp 403-410.

Baillie, M. A. y Baillie, 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.

Bautista y Alvarado (2006). Producción de jitomate en invernadero. Colegio de Posgraduados. 2 ª. Ed. Editorial Cromocolor, México.

Benavides, M. A. y Ramírez, R. H. (2002). Respuestas de las plantas a la radiación electromagnética. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp 6-7.

Berrospe, O. E. A.; Ordaz, C. V. M.; Rodríguez, M. M.; Quintero, L. R. (2012), Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* (18) 1: 141-156.

Briassoulis (1998), P. A. Dilara, Standard Testing Methods for Mechanical Properties and Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE) Films Used as Greenhouse Covering Materials: a Critical Evaluation.

Briassoulis D., Waayenberg, D., Gratraud, J. and Von Elsner, B. (1997) Mechanical properties of covering materials for greenhouses, Part 1 General Overview. J. *Agric. Eng. Res*., Vol.67, Issue 2, June 1997, pages 81-96.

Caldari, J. P. (2007). Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de Luz de Calidad en el cultivo de Hortalizas. Simposio Internacional. CIBA Especialidades Químicas Ltda. Brasil p 5

Carrasco, R. L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia.* Vol. 27, Nº 3. Arica. Dic 2009. pp 59-76.

Castellanos, J. Z., Muñoz, R. J. J. (2003). Manual de producción hortícola en invernadero 2da. Edición. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura en México.

Carluccio, C., Lenscak, M., Panelo, M., Del Huerto C., Cáceres S., Molina N., Scaglia, E. y Pernuzzi, C. 2002. Situación de la Agroplasticultura en países Iberoamericanos. Tercera reunión de coordinación en Caracas, Venezuela. Cyted, Almería, España pp. 30-71.

CDBPA (2010). Manual de buenas practicas agrícolas en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill*),* capacitación y divulgación de buenas practicas agrícolas en la región norte central de Nicaragua para contribuir a la reducción del escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. p. 13.

CIDH (2009). Comisión para la Investigación y los Derechos de las Hortalizas. Monografías Tomate. p 2.

Contreras, A. C. (2011). Evaluación en invernadero de películas nano estructuradas y su efecto sobre las condiciones micro ambientales, desarrollo y producción de pepino (*Cucumis sativus* L). Tesis Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada.

CORPOICA (2006). El cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín Técnico Nº 21. Antioquia, Colombia. pp. 21-22.

Cummings, G. I., Foo, E., Weller, L. J., Reid, B. J. and Koutoulis, A. (2008). Blue and red photoselective shade cloths modify pea height through altered blue irradiance perceived by the cry1 photoreceptor. *Journal of horticultural Science & biotechnology* pp. 663-667.

Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J.C., López, J., Salmerón, A. (2001). Los Filmes Plásticos en la producción agrícola. Mundi-Prensa. Madrid. 1ª Ed. 320 pp.

Dyer, G. A. and Chittka, L. (2004). Bumblebee search time without ultraviolet light. *The Journal of Experimental Biology* 207. pp. 1683-1688.

Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios. CEA 03. 71-88 p.

Espí, E.; Salmerón. A., García. Y. y Catalina. F. (2001), Pigmentos de inferencia como modificadores del espectro de transmisión de filmes agrícolas. *Revista de Plásticos Modernos*. Vol. 83 (547).

Espí. E., Salmerón. A., Fontecha A., García. Y. y Real A. I. (2006). Plastic Films for Agricultural Applications *Journal of Plastic Film and Sheeting*; Vol.22, No. 2 pág. 85-102.

FIRA (2006). Dirección de Consultoría en Agronegocios Dirección Regional del Norte. Agencias Monterrey, Saltillo, Parral y N. Casas Grandes. Agricultura protegida: Cultivo de Tomate en Invernadero: Costos de Producción, Producción y Análisis de rentabilidad. p.18.

García, E. (1987). Modificaciones al sistema climático de Köppen. 4ª. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Gaspar (2010). Nutrición en el cultivo de tomate para industria, Agro estrategia consultores, Rosario, Argentina. p. 9.

González, A. C. (2010). Evaluación agronómica de películas para invernadero formuladas con nano partículas de oxido de zinc. Tesis Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada.

Groover, P. M. (1997). Fundamentals of modern manufacturing, materials, processes, and sistems. 1ª Ed. Prentice Hall, Inc. México.

Guevara, E. y Guenni, O. (2009). Potencial de crecimiento en cuatro líneas de *leucaena leucocephala* (LAM de wit) durante el establecimiento. Geominas, Vol. 37 No. 50. pp 216-220.

Guevara, V. S. (2003). Estimación de la radiación solar. UNATSABAR-CEPIS-OPS. Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural, Lima, Perú. pp. 2-3.

Hernández, J., Escobar, I. y Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos, Caja Rural de Granada, España. p 17.

Hernández, J., Escobar, I. y Castilla, N. (2002). La radiación solar en invernaderos mediterráneos II. Caja Rural de Andalucía y Junta de Andalucía. Andalucía, España: 10-20.

Hemming, S. (2008). Materiales difusos para cubiertas de invernadero no solamente para climas cálidos. *Revista Plasticulture* No. 127: 25-39.

Hemming, S., Mohammadkhari, V. and Duek, T. (2008). Diffuse greenhouse covering materials technology, measurement and evaluation of optical properties. *Acta Horticulturae*. 787. pp. 469-475.

Howard, W. Z. (2010). El tomate versus el pimiento: maduración y almacenamiento, Zeraim Gedera, Israel. pp. 141.

Huerta, H. A. (2013). Agricultura protegida, *Agroentorno.* p 1.

INEGI (2008), www.inegi.com.mx.

Jones, G. H. (1992). Plants and microclimate. A Quantitative Approach to Enviromental Plant Physiology. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain: 428.

Leskovar (2001). Producción y eco fisiología del trasplante hortícola. Texas A&M University. USA.

Lorenzo, P. (1998). Instalaciones y métodos de control climático: Enriquecimiento carbónico. Tecnología de invernaderos II 399-412.

Lorenzo, P. (2000). Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En: calefacción de invernaderos en el sudeste español. 11-13. Edita Caja Rural de Almería, España.

Magan, J. J., Lopez, J.C., Escudero, A. y Pérez-Parra, J. (2007). Comparación de dos Estructuras de Invernadero (Cristal vs. Plástico) equipados con sistemas de control activo de clima. Actas de Horticultura No. 48. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas: 880-883.

Manrique, E. 2003. Los pigmentos fotosintéticos, algo mas que la captación de luz. Ecosistemas. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*: Vol. 12, No. 1 Enero-Abril 1-11 pp.

Márquez, Y. (1978). Guía para el control de los hongos del suelo en el cultivo del tomate utilizado en el sistema de fertirrigacion. División Agropecuaria, Merk Sharp y Dohme de México. p. 3.

Matallana, A. y Marfa, J. 1978. Los Invernaderos y la crisis energética Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias Ministerio de Agricultura. Madrid.

Monza, J., Signorelli. S., Borsani, O. y Sainz, M. (2010). Fotosíntesis, Fagro.

Nieto A. R. y H. E. Velasco, Cultivo de Jitomate en Hidroponía e Invernadero. 2da Edición. Departamento de Fitotecnia Universidad Autónoma de Chapingo. México, 2006.

Nijskenst, J., Deltour, J., Albresht, E., Gratrud, J. Feuilloey, P. (1993). Estudio comparativo del envejecimiento de un filme de polietileno en laboratorio y en invernadero. Comité Internacional del Plástiques en la Agricultur. (CIPA) Francia. *Plasticulture* Nº 87 p.11-20.

Nobel, S. P. (2009). Physiochemical and environmental plant physiology. 4 th Ed. Chap. 8 Leaves and Fluxes. pp. 403-420. Academic Press. Elseiver. London U.K.

Nodo Hortícola (2009). Manual del cultivo de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill, Innova chile, Chile p. 11.

NOM-E-027-SCFI-2003. Determinación de la resistencia al rasgado por el método de Elmendorf en películas y laminados. Método de ensayo.

Nuez, F. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 51-61 pp.

Nuño, M.R. (2007), Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. p. 11.

Olsson, C. L., Fraysse, L. and Bornman, F. J. (2000). Influence of light and UV-B radiation on photosynthesis and D1 turnover in atrazine-tolerant and sensitive cultivars of Brassica napus.

Orden, S.; De Oto, D.; Goldberg, M. y Mascarini, L. (1997). Transmitancia luminosa y haze espectral de mallas de sombreado para invernaderos. 7ª. Reunión Argentina y 1ª. Latinoamericana de Agro meteorología. Buenos Aires, Argentina. Abril 28-30. P. 53-54.

PAK Unlimited, Inc. www.pakunlimited.com/modules.php?op=modload&name =News&file=article&sid=169&mode=thread (.

Papasseit, P. (2009). Nuevo concepto en la producción de plantas con luz difusa. Industria hortícola. *Horticultura internacional*: 32-36. No 68. Marzo 2009.

Pérez, E.; Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos básicos. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal. 2(3). Universidad Complutense de Madrid: 1-47.

Pérez, C., López, J. C., Gazquez, J. C., Meca, D. E., Marín, A., Bermúdez, M. S. y Solera, A. (2007). Influencia de los plásticos anti-plagas sobre la presencia de *Bermisia tabaci* y *Frankliniella occidentalis*. XXXVII avo. Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura. Almería: 1029-1035.

Picken, A.J.F, Stewart K., Klapwikj D. (1986). Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo de tomate. Coordinado por F. Nuez. Ed. Mundi-Prensa. 1995.

Prenger, J. J., Ling, P. P. (2007). Greenhouse condensation control: Understanding and using Vapor Pressure Deficit (VPD). Extension FactSheet. The Ohio State University. Wooster, Ohio.

Pontikakos, C.; Ferentinos, P. K.; Tsiligiridis, T. A.; Sideridis, B. A. (2005), Natural ventilation efficiency in a twin-span greenhouse using 3D computational fluid dynamics. In proc. Of the international congress on Information Technologies in Agriculture. Food and Enviroment. October 12-14.

Quezada, M. R.; Cedeño, R. B.; Rodríguez, C. I.; Munguía, L. J.; Flores, V. J.; Arellano, G. M.; Martínez, A. y Castillo, J. D. (2011). Evaluación de cubiertas plásticas con características especiales para uso en invernadero. *Revista Plasticulture* No. 130: 34-55.

Ramírez, E., Martínez, C., Sánchez, L., 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 Internacional de Plásticos en la Agricultura. Paris, Francia. *Plasticulture* Nº 105 p. 5-12.

Rigail, C. A. F. y Godoy, A. D. (2009). Análisis de películas con protección UV. Tesis Escuela Superior Politécnica del Litoral. (EPSA), Ecuador.

Robledo, F. (1987). Laminas de polietileno y copolimero Eva para usos en agricultura. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones Agrarias, Pesquerías y Alimentarias. Madrid, España. No. 2/87 HD. 20 pp.

Rodríguez, R., José, T., José, A. y Juan, M. (1997). Cultivo moderno del tomate.2da. Edición. Ed. Mundi-prensa México, S.A. de C.V. México D.F.

Rodríguez, M. R.; Alcantar, G. E. G.; Iñiguez, C. G.; Zamora, N. J. F.; García, L. P. M.; Ruiz, L. M. A.; Salcedo, P. E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero, *Interciencia* 35 (7): 515-520.

Rodríguez T., D. A. (2008). Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Ed. Mundi-Prensa, UACh, ANCF. México, D.F. 156 p.

SAGARPA (2010). Monografía de cultivos, subsecretaria de fomento a los agronegocios, Jitomate. p.8.

SAKATA. www.sakata.com.

Salisbury, B. F.; Ross, C. W. (1994). Fisiología vegetal Grupo Editorial Iberoamericana. S.A. México. 759 p.

Salisbury, B. F.; Ross, C. W. (2000). Fisiología de las plantas. Trad. por Alonso J. Ed. Thompson-Paraninfo, España, Editorial Paraninfo S.A. pp. 987.

Sánchez, L. S., González, M. C. y Quezada, M. R. (2004). Desarrollo de películas para invernadero para clima cálido. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Saltillo México. VI Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de Plásticos en Agricultura CIDAPA. (8 al 10 de noviembre de 2004). Bogotá, Colombia. pp. 37-39.

Sánchez, M. P. (2007). Cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas de Vid (*Vitis Vinifera* L.) por factores biológicos ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid: 48-50.

Santiago, J.; Mendoza, M. y Borrego, F. (1998), Evaluación de tomate (*lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: Criterios Fenológicos y Fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 59-65.

Serope, K. y Steven, R. S. (2002). Manufacturing, Engineering and Technology. Fourth edition. Prentice Hall Inc. Upper Saddler River, New Jersey, U.S.A. 56 and 75 pp.

Shackelford, J. F. (2009). Materials Science for engineers. Mechanical Behavior. Seventh Edition. Library of Congress Catalog Publication Data. U.S.A. pp 152-185.

Snyder, G. R. (2010). Guía del cultivo de tomate, Mississipi US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississipi. U.S.A. No. 2419. 24 pp.

Solartronic S.A. de C.V. (2003), Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, para la Republica Mexicana. SOL/DT-001-03. p 9.

Soler, A., Parra, A., Arévalo, A. B., Pérez, C. y López, J. C. (2009). Efecto de los plásticos anti plagas en el éxito del control biológico en cultivos hortícolas intensivos del sureste español. Acta de XVIII Congreso Internacional de CIPA y XI Congreso CIDAPA. Almeria.

Stryer, L.; Berg, J. and Tymoczko, J. (2002). Biochemistry. Freeman, New York, 974. pp. 974. 5ª. Ed.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Fisiología Vegetal. 3ª. Ed. Universitat Jaume I, D. L.: 269-315.

Tartochnyk, I. I. and Blanke, M. M. (2007). Photosynthesis and transpiration of tomato and CO_2 fluxe in a greenhouse under charging environmental condition in winter. Appl. Biol. 149-156.

Valera, M. D. L., J. A. Gil. y F. Molina. (2001). Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural* No. 139: 50-52.

Velasco, H. E. (2001). Inventario de emisiones biogenicas a la atmosfera en la Zona Metropolitana del Valle de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México.