CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Saltillo, Coahuila a 3 de diciembre de 2013

Coordinación de Posgrado
Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ** titulado "**Estudio del efecto de la radiación fotosintética, transmitida por diferentes cubiertas de invernadero, sobre los índices de crecimiento y rendimiento en el cultivo de tomate tipo uva**" el cual fue presentado el día **22 de noviembre 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. Antonio Cárdenas Flores
Presidente

M.C. Adrián Méndez Prieto
Secretario

Dra. Graciela Arias García
Vocal

Vo. Bo. de los ASESORES

Dr. Marco Antonio Arellano García

M.C. Ma. Rosario Quezada Martín

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

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ **FIRMA** _____

TITULO: Estudio del efecto de la radiación fotosintética, transmitida por diferentes cubiertas de invernadero, sobre los índices de crecimiento y rendimiento en el cultivo de tomate tipo uva.

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

M.C. Ma. Rosario Quezada Martín **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 22 de Noviembre 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

PROGRAMA DE POSTGRADO EN AGROPLÁSTICULTURA

Estudio del efecto de diferentes cubiertas de invernadero, sobre los índices de crecimiento y rendimiento en el cultivo de tomate tipo uva. (*Solanum lycopersicum* L. cv. Sweet Hearts)

TESIS:

Presentada por:

LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ.

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México **Octubre del 2013.**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

PROGRAMA DE POSTGRADO EN AGROPLASTICULTURA

TESIS

Estudio del efecto de diferentes cubiertas de invernadero, sobre los índices de crecimiento y rendimiento en el cultivo de tomate tipo uva. (Solamun lycopersicum L. cv. Sweet Hearts)

Presentada por:

LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ.

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Asesorada por: **Coasesor:**

Dr. Marco Antonio Arellano García **Ma. Del Rosario Quezada Martín**

Sinodales

Dr. Antonio Cárdenas Flores **Dra. Graciela Arias García**

M.C Adrián Méndez Prieto

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

TESIS

Estudio del efecto de la radiación fotosintética, transmitida por diferentes cubiertas de invernadero, sobre los índices de crecimiento y rendimiento en el cultivo de tomate tipo uva

Presentada por:

LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Marco Antonio Arellano García
M.C. Ma. Rosario Quezada Martín

SINODALES

Dr. Antonio Cárdenas Flores
Presidente

M.C. Adrián Méndez Prieto
Secretario

Dra. Graciela Arias García
Vocal

Saltillo, Coahuila **Noviembre, 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 22 de noviembre de 2013

LEHOVVY EDWARDS VELÁZQUEZ DÍAZ
Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme el apoyo económico con lo cual me permitió realizar este proyecto.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Dr. Marco Antonio Arellano por haberme brindado su confianza, amistad y por brindarme sus conocimientos para la realización de presente trabajo de investigación.

A la M.C Ma. Del Rosario Quezada Martín por haberme dado sus consejos prácticos y orientación sobre la realización de este presente trabajo.

Al MC. Eduardo Alfonso Treviño López, al Ing. Felipe Hernández Castillo y a la M.C Juanita Flores Velázquez, al Sr. Jacobo Prado por haber colaborado en las actividades realizadas en campo y darme su amistad y apoyo durante la realización de este proyecto.

Al Dr. Antonio Cárdenas Flores, que contribuyó de manera metódica la revisión del presente trabajo, agradezco sus observaciones.

Al M.C Adrián Méndez Prieto, a la Dra. Graciela Arias García, Por formar parte del comité evaluador y por sus observaciones realizadas en la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción.....1
1.1 Objetivos. 5
1.2 Hipótesis.....5
II. Revisión de literatura. 6
2.1 Principales países exportadores.....6
2.2 Taxonomía del tomate.....7
2.3 Morfología del tomate.....7
2.4 Necesidades edafoclimáticas.....9
2.5 Plásticos en la agricultura.....9
2.6 Uso de malla sombra en la producción agrícola 11
2.7 Películas de invernadero 12
2.7.1 Ventajas de la producción bajo invernadero. 13
2.8.1 Películas fotoselectivas.....14
2.8.2 Películas refrescantes.....15
2.8.3 Películas antigoteo.....15
2.8.5 Películas antiplagas. 16
2.9 Propiedades ópticas de las películas de invernadero.....17
2.9.1 Trasmitancia 17
2.9.2 Difusión. 17
2.9.3 Termicidad.....18
2.10 Factores ambientales que afectan el desarrollo de las plantas dentro de un invernadero.....18
2.10.1 Temperatura.....18
2.10.2 Radiación.....19
2.10.3 Déficit de presión de vapor.....20
2.10.4 CO_2 20
2.11.1 Radiación infrarroja.....21
2.11.2 Radiación ultravioleta.....22
2.11.3 Radiación UVa 22

2.11.4 Radiación UVb 23
2.11.5 Radiación UVc 23
2.11.7 Radiación difusa 24
2.11.8 Radiación fotosintéticamente activa (PAR) 24
2.12 Trabajos realizados en análisis de crecimiento en Hortalizas. 25
III. Materiales y Métodos.....27
3.1 Localización del sitio experimental 27
3.2 Producción de plántula 27
3.3 Descripción de los invernaderos empleados. 29
3.4 Construcción de los invernaderos 29
3.5 Preparación del terreno. 31
3.6 Instalación de cintillas y acolchado.....32
3.7 Trasplante y Nutrición.....32
3.8 Manejo del cultivo.....33
3.8.1 Eliminación de brotes 33
3.8.2 Tutorado 34
3.8.3 Deshoje 35
3.8.4 Deshierbes 35
3.8.5 Cosecha.....36
3.8.6 Pinzado de plantas 36
3.8.7 Control fitosanitario.....37
3.8.8 Descripción de tratamientos. 37
3.9 Análisis estadístico.....38
3.10 Toma de datos: 38
3.10.1 Muestreos de variables de crecimiento.....38
3.10.2 Muestreo de rendimiento de fruto 40
3.10.3 Muestro de calidad de fruto 41
3.11 Datos de microclima 42
3.12 Radiación Fotosintéticamente Activa PAR.....42
3.13 Temperatura y Humedad Relativa 43
3.14 Variables evaluadas.....44

3.14.1 Tasa de crecimiento relativo total....44
3.14.2 Tasa de crecimiento relativo de tallo....44
3.14.3 Tasa de crecimiento relativo hoja....45
3.14.4 Tasa de crecimiento relativo fruto....45
3.14.5 Tasa de crecimiento relativo flor....46
3.14.6 Tasa de asimilación neta....46
3.14.8 Razón de área foliar....47
3.14.9 Área foliar específica....48
3.14.10 Índice de eficiencia crecimiento del fruto....48
3.14.11 Coeficiente de partición de biomasa....49
IV. Resultados y discusión....50
4.1 Radiación....50
4.2 Temperatura....53
4.3 Tasa de Crecimiento Relativo Total....56
4.4 Tasa de Crecimiento Relativo de Tallo....58
4.5 Tasa de crecimiento relativo hoja....59
4.6 Tasa de crecimiento relativo fruto....61
4.7 Tasa de asimilación neta....64
4.8 Razón de Peso Foliar (RPF)....67
4.9 Razón de área foliar....69
4.10 Área foliar específica....70
4.11 Índice de eficiencia crecimiento del fruto....72
4.12 Coeficiente de Partición de Biomasa....75
4.13 Componentes del Rendimiento....77
4.13.1 Rendimiento de fruto....77
4.13.2 Número de Frutos....78
4.14 Calidad de fruto....80
V. CONCLUSIONES....83
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....84

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Solución nutritiva que se utilizó para regar las charolas……28

Cuadro 3.2 Solución nutritiva utilizada en el agua de riego…….33

Cuadro 3.3 Fechas y días después de siembra que se realizaron los muestreos destructivos.....39

Cuadro 3.4 Fechas en que se realizaron los muestreos de rendimiento de fruto……..41

Cuadro 3.5 Fechas de los muestreos de calidad de fruto ……42

Cuadro 4.1 Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo total……...57

Cuadro 4.2 Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de tallo……..58

Cuadro 4.3 Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de hojas…….60

Cuadro 4.4 Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de fruto…….62

Cuadro 4.5 Comparación de medias de Tasa de de asimilación neta……...66

Cuadro 4.6 Comparación de medias de Razón de peso foliar……...69

Cuadro 4.7 Comparación de medas de Razón de área foliar……70

Cuadro 4.8 Comparación de medias de Área foliar específica…….71

Cuadro 4.9 Comparación de medias de Indice de eficiencia de crecimiento del fruto….…74

Cuadro 4.10 Comparación de medias de Coeficiente de partición de biomasa……76

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Ubicación del sitio de estudio……..27

Figura 3.2 Siembra de la semilla en las charolas de poliestireno……..28

Figura 3.3 Instalación de los tubos galvanizados……..29

Figura 3.4 Colocación de los arcos galvanizados en los tubos…….30

Figura 3.5 Estructuras (Malla sombra, invernadero convencional, invernadero CIQA)…..31

Figura 3.6 Realización de las camas de forma manual…….31

Figura 3.7 Colocación de las cintillas de riego sobre las camas ……..32

Figura 3.8 Brotes axilares quitados a la planta…….34

Figura 3.9 Tutorado que se dio a las plantas dentro de cada invernadero……35

Figura 3.10 Medidor de área foliar (LI-COR inc)…….39

Figura 3.11 Báscula utilizada para conocer el peso de fruto…….40

Figura 3.12 Tamaños representativos de los frutos ……..42

Figura 3.13 Sensor utilizado para medir PAR dentro de cada invernadero……..43

Figura 3.14 Garita de madera utilizada para proteger el sensor tipo HOBO……43

Figura 4.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos (µmol m-2 seg-1). (Primer periodo)……...…….50

Figura 4.2 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos. (µmol m-2 seg-1)(Segundo periodo)……..……....51

Figura 4.3 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos. (µmol m-2 seg-1)(Tercer periodo)……...……...52

Figura 4.4 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos en el primer periodo (°C)……..…..54

Figura 4.5 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos en el segundo periodo (°C)……55

Figura 4.6 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos en el tercer periodo (°C)……56

Figura 4.7 Correlación entre la PAR y la TCR hoja…….60

Figura 4.8 Correlación entre la Temperatura y la TCR hoja……61

Figura 4.9 Correlación entre PAR y TCR fruto……63

Figura 4.10 Correlación entre Temperatura y TCR fruto…….63

Figura 4.11 Correlación entre la PAR y la Tasa de asimilación neta……..66

Figura 4.12 Correlación entre la Temperatura y la Tasa de asimilación neta……...67

Figura 4.13 Correlación entre la PAR y el Área foliar específica……71

Figura 4.14 Correlación entre la Temperatura y el Área foliar específica……72

Figura 4.15 Correlación entre la Radiación y el índice de eficiencia de crecimiento del fruto……...74

Figura 4.16 Rendimiento de frutos cosechados por muestreo……..77

Figura 4.17 Rendimiento de frutos cosechados en total……...78

Figura 4.18 Número de frutos cosechados por muestreo……..79

Figura 4.19 Número de frutos cosechados en total……..….80

Figura 4.20 Calidad de Fruto……....81

I. Introducción

El tomate silvestre es nativo de América del surl y se distribuye desde el norte de ecuador, a través de Perú al norte de Chile, en las islas Galápagos y también en Colombia y Bolivia .El tomate se ha extendido por el mundo y ha experimentado una gran diversificación debido a la gran diversidad de usos y su adaptación a diferentes sistemas de cultivo. Como resultado, cientos de variedades de tomates ya están disponibles. El tomate tiene una amplia base genética, esto es porque sus parientes silvestres se han utilizado para el mejoramiento genético de este cultivo. El alto rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad de fruta han sido los objetivos principales de la siembra de este cultivo. A pesar de la considerable mejora obtenida hasta la fecha, la aplicación de nuevas biotecnologías, incluyendo las recientemente desarrolladas herramientas genómicas de proyectos genómicos, ha permitido a los investigadores abordar nuevos objetivos inalcanzables técnicamente hace unos años. (Hernández ***et at*** 2002)

El cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*) es actualmente la hortaliza que genera más divisas para México, ya que cerca del 30 % de la producción nacional se exporta, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica. (Hernández ***et at*** 2002)

La producción de tomate bajo agricultura protegida es el sustituto de alto valor económico de los tomates producidos en condiciones de campo abierto. La producción bajo condiciones protegidas como los invernaderos viene posicionándose en el limitado segmento de mercado detallista y para consumo en fresco, cuando baja la producción en el campo. (FIRA 2007)

Es necesario optimizar la cantidad y calidad de luz para el crecimiento de las plantas, por lo que se ha trabajado en el desarrollo de nuevas cubiertas plásticas que contienen diferentes pigmentos fluorescentes o fotoselectivos, que tienen la particularidad de incrementar la cantidad de luz roja o azul modificando la expresión del fitocromo y las respuestas fisiológicas que impactan directamente la productividad de los cultivos (Espí ***et al***., 2006).

Anteriormente los plásticos utilizados en las cubiertas de invernadero fueron láminas de polietileno, las cuales protegían a los cultivos de factores como viento, lluvias, y granizos, más tarde surgieron los materiales de larga duración, tratados con inhibidores de luz ultravioleta, los cuales evitan su degradación en determinado tiempo. Estas películas no fueron suficientes ya que solo estaban diseñadas para tener una mayor resistencia, y no para aumentar la productividad en el cultivo, por lo que se evolucionó con la aparición de las películas térmicas de larga duración, que además de proporcionar la protección contra los rayos uv, fueron sometidos a un tratamiento térmico que impidió que el calor se escape a través de las mismas (Angus y Morrison 1998)

A partir de estas experiencias se logró revolucionar el mercado de las cubiertas de invernadero, no por los materiales de las cubiertas, sino por la tecnología que se utiliza en la fabricación de las mismas. La técnica de coextrusión ha permitido combinar diferentes materiales aprovechando sus ventajas mediante la colocación de capas sucesivas de forma independiente (Rodríguez, 1999)

En los plásticos para invernaderos, siempre se ha tomado en cuenta mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de las películas; sin embargo, hay otros factores de mayor importancia como son las propiedades ópticas, ya que las cantidades y calidades de luz afectan a los procesos fisiológicos, además de la productividad del cultivo (Lee ***et al***., 2000).

En el estado de Coahuila se tienen temperaturas extremas, teniendo veranos calurosos e inviernos muy fríos. En el ejido de San Antonio de Acatita, Coahuila, ubicado en el municipio de Ramos Arizpe se han registrado temperaturas superiores a los 35 °c en verano principalmente los meses de mayo, Junio, Julio y Agosto, siendo las 12, 13 y 14 horas del día en donde se presentan las mayores temperaturas (CONAGUA 2013). Estas temperaturas altas provocan un poco rendimiento en los cultivos, es por ello la necesidad de los agricultores de utilizar Mallas-sombra para reducir la incidencia de las altas temperaturas, con lo cual se han mostrado muy buenos resultados, sin embargo el uso de las Mallas sombra no resuelve toda la problemática, debido a que cuando se presentan lluvias,

estas causan enfermedades y defoliación en las plantas cultivadas, es por ello la necesidad de implementar nuevas técnicas de producción. En la que se logren bajas temperaturas para la producción de los cultivos, y al mismo tiempo proteger a los cultivos de plagas, y de factores externos como lluvias, granizos, etc.

Una de las estrategias para reducir esta problemática es el uso de películas refrescantes que son de vital importancia en regiones con alta incidencia de radiación, ya que tienen el propósito de impedir el paso de las radiaciones infrarrojas al interior del invernadero, las cuales incrementan la temperatura al interior del mismo, pero al mismo tiempo sin impedir el paso de la radiación fotosintéticamente activa, la cual es de mucha importancia para las plantas en el procesos fotosintético, de esta manera se logra reducir la temperatura media en aproximadamente 5°C (Rodríguez, 2010). Por otra parte, uno de los principales objetivos de las películas refrescantes es extender el ciclo productivo de la planta para la obtención de mayores ganancias. Sin embargo, estas películas reducen la radiación fotosintéticamente activa,

La radiación PAR o radiación fotosintéticamente activa, es la responsable para realizar el proceso fotosintético de las plantas, siendo los altos valores de transmisión de radiación PAR importantes para la fotosíntesis, en los cuales los nuevos incrementos de radiación no se traducen en aumentos en la tasa fotosintética (Iglesias Y Muñoz 2007)

Sin embargo uno de los problemas principales en la agricultura protegida de México son las elevadas temperaturas en el interior de estas estructuras que limitan el rendimiento potencial de los cultivos.

Los excesos de radiación fotosintéticamente activa, pueden hacerse nocivas, debido a que causan la fotoinhibición definida como inhibición de la fotosíntesis causada por el exceso de radiación, la cual indica que la planta está sometida a condiciones estresantes (Casierra 2007). Estos problemas de foto inhibición se han presentado en regiones con altas incidencias de radiación en el norte del país, en donde se han utilizado películas sin

propiedades refrescantes, las cuales aumentan la radiación y la temperatura ocasionando la baja productividad en los cultivos.

Los agricultores de la región desconocen las propiedades de las películas refrescantes, ya que regularmente para la protección de los cultivos utilizan malla sombra, sin embargo este tipo de cubierta no es suficiente, debido a que permite el paso de la lluvia y granizo, causando enfermedades debido a un exceso de humedad en el interior, además de la defoliación de las plantas, causando un menor aparato fotosintético en las plantas, dando lugar a una menor producción de frutos. En cuanto a las películas convencionales, éstas no tienen la capacidad de disminuir la radiación infrarroja de onda corta, teniendo altas temperaturas en el interior, provocando la fotorespiración y deteniendo el crecimiento de las plantas, reduciendo el aparato fotosintético. Es por ello la necesidad de utilizar las películas refrescantes las cuales a pesar de disminuir las incidencias de radiación infrarroja de onda corta, la cual es la causante del aumento de las temperaturas, también provocan la reducción de la Radiación fotosintéticamente activa en exceso, mejorando así el aparato fotosintético de las plantas y por consecuencia una mayor producción de frutos.

1.1 Objetivos.

Determinar el efecto de la radiación fotosintética, transmitida por diferentes cubiertas de invernadero, sobre los parámetros de crecimiento y productividad del tomate tipo uva

1.2 Hipótesis.

Al modular la radiación fotosintética se mejoraran las respuestas de crecimiento y productividad del cultivo.

II. Revisión de literatura.

2.1 Principales países exportadores.

La producción de tomate para México a nivel mundial estuvo situada en el lugar número 12, mientras que el principal productor fue China con 36 %, seguido de Estados unidos, Turquía y la India con 14 %, 12 %, 11 % respectivamente. (FAO 2008)

A nivel mundial Holanda, México y España ocupan los primeros tres lugares como los mayores exportadores, ya que más del 55 % es lo que logran comercializar del total mundial. México está en segundo lugar ya que exporta el 18 %. (SAGARPA 2010)

El principal país importador es Alemania con 18 % del total de las importaciones mundiales; le sigue EE.UU. en segundo lugar, aunque por un estrecho margen de diferencia, apenas 0.1%. después se encuentra Reino Unido con 11%, Francia 8% y Rusia 8%. (SAGARPA 2010)

Según los datos del SIAP, durante el 2013, se produjeron en todo México 708 874 toneladas de jitomate, en una superficie de 18 041 hectáreas, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 63 % del total nacional, en segundo estuvo Nayarit con el 5 %. Siguen en la lista los estados de Veracruz, Sonora y Jalisco con el 4.8%, 4.3 %, y 4.13 % respectivamente. Teniendo un rendimiento nacional de 39.292 toneladas por hectárea.

2.2 Taxonomía del tomate.

Según Torres (1991) la taxonomía del tomate es la siguiente:

Nombre Científico: *Solanum lycopersicum*

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: Solanum
Especie: *S. lycopersicum*

2.3 Morfología del tomate.

"Planta: El tomate puede presentar básicamente dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado. La planta indeterminada es la más común y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, y sin límite. En ella, los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo. A diferencia de esta, la planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado". (Escalona ***et at*** 2009)

Sistema radical: La raíz de la planta alcanza una profundidad de hasta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. En ocasiones la raíz cuando la raíz se daña, y puede cambiar a fasciculada, donde es adventicia y menos profunda, pues alcanza profundidad de 30 cm del perfil. (Monardes 2009)

“Tallo principal: el tallo alcanza un diámetro aproximado entre 2-4 cm en la base, donde se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o córtex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales” (Infoagro 2013)

“Hojas: Sus hojas son compuestas con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de vellosidad. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. (Infoagro 2013)

“Flor: La flor del tomate es perfecta. 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 soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bio 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.” (Monardes 2009)

“Fruto: baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separase por la zona peduncular de unión al fruto” (Infoagro 2013)

2.4 Necesidades edafoclimáticas

.

Clima: el tomate es tolerante al calor y sequía y sensible a las heladas, es menos exigente a otros cultivos como el pimiento y berenjena. Prospera de mejor manera en climas secos con temperaturas moderadas. Para el desarrollo óptimo del tomate se necesitan humedades relativas entre 60 % y 80 %., ya que las humedades relativas muy elevadas provocarían la incidencia de enfermedades aéreas, además del agrietamiento del fruto. Estos excesos de humedad provocaran de igual manera el aborto de flores, debido a que el polen se compacta dificultando la fecundación. Cuando se aplican riegos abundantes después de una deficiencia de agua, pueden ocasionar rajado del fruto, sin embargo bajas humedades dificultaran la fecundación de la flor. (Monardes 2009).

Para tener la cosecha del primer fruto es necesario que transcurra un periodo de 3 a 4 meses desde el establecimiento. Se necesitan temperaturas entre 21 y 24 °C para su óptimo desarrollo, sin embargo tolera temperaturas de 18 ° C a 28 °C. Temperaturas superiores de 28 ° C, ocasionan una baja productividad en el cultivo. Las temperaturas nocturnas afectan en el cuajado del fruto debido, deben evitarse temperaturas muy bajas, las óptimas son entre 15 y 22 ° C.

De igual manera las temperaturas inferiores a los 12 ° C, también originan problemas en el desarrollo de la planta, deformando los frutos. La maduración del fruto influye demasiado en la temperatura, en cuanto a la precocidad como a la coloración, ya que los valores cercanos a 10 ° C y superiores de 30 ° C, provocaran que el fruto tenga tonalidades amarillentas. (Monardes 2009)

2.5 Plásticos en la agricultura

Los plásticos tienen diversos tipos de usos debido a las ventajas que representan su sus propiedades, como el peso ligero, bajo costo y facilidad de fabricación. Hablando de los plásticos en la agricultura, tiene una gran importancia, especialmente en la producción hortícola. A Mediados del siglo pasado se empezó a divulgar el uso de los plásticos para la producción agrícola. Algunos de los beneficios reportados en la utilización de materiales

plásticos fue la obtención de mayores rendimientos en los campos agrícolas que las cosechas anteriores, además de que con el uso de los plásticos se tiene una menor dependencia de herbicidas y pesticidas, se brinda protección contra heladas además de la conservación de agua a través de la reducción del riego y agua de consumo. Los plásticos también proporcionan un uso más eficiente de tierras agrícolas, cultivos de mayor calidad y un resultante ambiente más sano. Además por ejemplo, en regiones áridas, los plásticos combinados con sistemas de tuberías de drenaje pueden reducir costos de riego por uno a dos tercios, mientras tanto duplican el rendimiento del cultivo (Picuno ***et at*** 2012)

A parte de los diversos usos y su significativa contribución al incremento en la productividad, el uso de plásticos agrícolas causa grandes cantidades de material post-consumo que deben eliminarse de manera tal que no cause efecto en el paisaje y el agroecosistema (Al-Maaded ***et at*** 2011)

Según la **FAO** 2008, hay una superficie mundial de tierra cultivable de 52 millones de hectáreas, de las cuales el 77 % (40 millones de ha) pertenecen a cultivos tradicionales y el 23 % (12 millones de ha) de agricultura protegida, en donde el 20.7 % son de acolchados, malla sombra y túneles (108 millones de ha) y el 2.3 % de invernaderos (1.2 millones de hectáreas).

En México se tiene un total de 20,000 hectáreas de agricultura protegida, de los cuales 12, 000 ha son de invernaderos y 8,000 ha son de malla sombra y macro túnel. Los cultivos que más se producen en México en sistemas protegidos son: tomate (72%), pimiento (17 %), pepino (10 %), otros (1%). (FAO 2008)

Según la **FAO** el total de toneladas de plásticos agrícolas que se consumen en México es de 280 000, de los cuales 180 000 toneladas pertenecen a películas de invernadero, 20 000 toneladas son de tubería y manguera, 15 000 toneladas de malla sombra y 50 000 toneladas de otros plásticos.

Los retos del siglo XXI, son demasiados teniendo en cuenta el aumento de la población por lo que será necesario tener una producción más amplia de productos agrícolas, alimentar y vestir la creciente población, adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles, y adaptarse al cambio climático (Conde 2011)

2.6 Uso de malla sombra en la producción agrícola

El uso de la malla sombra en la producción agrícola, es para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos, también suelen usarse en las ventanas de los invernaderos para impedir la entrada de los insectos y reducir el uso de pesticidas. Cuando las mallas se utilizan para cubrir totalmente estructuras de invernaderos o estructuras tipo cobertizos se conocen como casa sombra y consiste en una tela tejida de plásticos con entramados de cuadros diferentes tamaños que sirven como cubierta protectora que regula la cantidad de luz que llega a las plantas y protege de los efectos del granizo, insectos, aves y roedores. (Juárez ***et at*** 2011)

Las mallas más utilizadas son aquellas de color negro, que tienen la característica de que el paso de la luz es directo, los rayos caen perpendiculares a las plantas, regularmente el material de las mallas es de polietileno y polipropileno.

Las mallas de color azul provocan una disminución del crecimiento de la planta, tallos más gruesos y mayor cantidad de hojas; la roja desarrolla plantas más rápido y aumenta la masa vegetativa, acelera la floración y maduración e incrementa el tamaño del fruto. Se desarrollan tallos más largos, la malla gris aumenta el desarrollo y la masa vegetativa, se obtiene un mayor rendimiento en la masa y el fruto. (Murillo 2009)

Mediante el empleo de mallas se puede reducir entre 10 y 95% del total de la radiación solar. La cantidad de luz que se deja pasar al interior depende de la especie que se tenga

en cultivo. Con las mallas no se evita el paso del agua de lluvia, además son permeables al viento

El objetivo de una malla sombra no es sólo reducir la cantidad de luz, también tiene como finalidad evitar el exceso de temperatura. Si se considera que el calor es producido por la radiación infrarrojo cercano del espectro electromagnético, entonces una malla ideal debería ser un filtro selectivo deteniendo dicha radiación sin afectar la radiación PAR, que es de utilidad en la fotosíntesis (Juárez ***et at*** 2011)

2.7 Películas de invernadero

Un invernadero es una construcción agrícola con una cubierta traslúcida, cuyo objetivo es simular condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas que se establecen en su interior. Los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Juárez ***et at*** 2011)

Los plásticos más utilizados en los filmes agrícolas, son el polietileno de baja densidad (PEBD), cuya densidad es menor de 0.93 kg m^{-2}, el copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA) y el policloruro de vinilo (PVC). También se emplean, como placas rígidas, el policarbonato (PC), el polimetacrilato de metilo (PMMA), el PVC rígido y el poliéster armado con fibra de vidrio entre otros. (Castilla 2007)

La finalidad de los invernaderos es proteger cultivos de los factores y elementos adversos a su desarrollo; como son altas y bajas temperaturas, granizadas, vientos, lluvias torrenciales, cantidad y calidad de energía luminosa. Estos factores y elementos pueden ser modificados y controlados eficientemente mediante el diseño, equipamiento y manejo apropiado de cada invernadero, considerando las condiciones climáticas locales y los requerimientos de cada especie agrícola a cultivar dentro de ellos. (Juárez ***et at*** 2011)

La agricultura de ambiente controlado consiste en modificar el ambiente natural para obtener el óptimo desarrollo de la planta, este tipo de modificaciones al ambiente se logran a través de un invernadero en donde se logra controlar la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar infestaciones de plagas y enfermedades y proteger a los cultivos de los elementos ambientales, como el viento, lluvia y granizos (Herrera 2000)

Los invernaderos se utilizan para asegurar la producción y calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es muy difícil mantener los cultivos de una manera adecuada a lo largo de todo el año. El concepto de cultivos bajo invernadero, representa el paso de producción extensiva de tomate a producción intensiva. Para ello, las plantas han de reunir condiciones óptimas de la raíz a las hojas.

El invernadero es una estructura, en la que las partes correspondientes a las paredes y el techo están cubiertos con películas plásticas, con la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente controlado de temperatura y humedad. Se pueden tener construcciones simples, diseñadas por los agricultores a bajo costo y otras más sofisticadas con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. (Jaramillo ***et al*** 2006)

2.7.1 Ventajas de la producción bajo invernadero.

Cuando se tiene una producción bajo invernadero, el cultivo se proteje de las lluvias, granizadas, además de las bajas temperaturas y la presencia de vientos fuertes. Además de tener un control interior sobre el calentamiento y el enfriamiento. Teniendo bien protegido nuestro cultivo de factores externos, se podrán obtener cosechas fuera de época, ya que es posible poder producir durante todo el año, esto permitirá una programación entre la producción y el mercado, permitiendo cumplir con los requerimientos del mercado de exportación y local. (Jaramillo ***et at*** 2006)

.

“Mejor calidad de la cosecha.

Dentro de un ambiente protegido, las condiciones de producción favorecen la obtención de productos sanos, similares en forma, tamaño y madurez, más gustosos y con excelente presentación, características que estimulan sensiblemente el consumo.

Preservación de la estructura del suelo.

En un ambiente protegido, el suelo permanece bien estructurado, firme y no sufre las consecuencias de la erosión a causa de las lluvias o el viento, disminuye el lavado de nutrientes dentro del perfil del suelo, por lo que las plantas obtienen mayor disponibilidad de los mismos, reflejándose en mayor productividad por unidad de área”. (Jaramillo et al 2006)

2.8 Tipos de películas usadas para la producción bajo invernadero

Según Espí 2012 el material más utilizado actualmente para la elaboración de películas de invernadero es el polietileno de baja densidad, ya que presenta mejores propiedades mecánicas, sin embargo es necesario que este material presente ciertas características como fotoestabilidad para mantener sus propiedades durante largos tiempos de exposición al sol; trasparente a la radiación visible, para permitir a la planta realizar la fotosíntesis; opaco a la radiación infrarroja para evitar la pérdida de calor por radiación durante la noche, e hidrófilo para evitar la condensación de agua en forma de gotas.

2.8.1 Películas fotoselectivas

Estas películas tienen la característica de modificar el espectro de luz recibido (Hernández ***et al***., 2002; Astiz ***et al***., 2010; Godoy, 2007) la idea de modificar el espectro de la luz se trata de absorber aquellas longitudes de onda que no son aprovechables para la panta, como la UV y algunas del visible (verde) y su posterior emisión en otras de menor energía y más eficaz para la fotosíntesis (azul rojo en el visible) (López y Losada, 2006)

Cuando se utilizan cubiertas fotoselectivas como herramienta auxiliar para el control fitosanitario en invernaderos, uno de los aspectos que hay que valorar es la incidencia de la modificación espectral de la luz sobre el desarrollo vegetativo de las plantas y, especialmente, sobre la producción al nivel de calidad y rendimiento.
(Hernández ***et al***. 2002).

2.8.2 Películas refrescantes.

Este tipo de películas impiden el paso de la radiación infrarroja al interior del invernadero, pero sin impedir el paso de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) Esto es de gran importancia en países con climas cálidos y alta radiación solar donde se pueden generar dentro de los invernaderos altas temperaturas y la radiación solar puede incluso quemar las plantas.
Se evita que los productores apliquen una capa de cal sobre la cubierta del invernadero con lo que reducen el paso de la luz al interior del invernadero, la cual es necesaria para el desarrollo del cultivo, y por otro lado la capa favorece la extracción de los aditivos que evitan la degradación del plástico por la acción de la radiación ultravioleta del sol, con lo que se produce una falla prematura de la cubierta. Con el uso de películas cubiertas con cal se reduce la temperatura media alrededor de 5°C, al igual que las películas refrescantes. (Diagro 2010)

2.8.3 Películas antigoteo

Las películas antigoteo están modificadas superficialmente para aumentar su higroscopicidad, de forma que cuando se condensa el agua sobre el plástico, lo haga en forma de lámina continua de agua trasparente y no en forma 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 antigoteo 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 antigoteo es al menos la de la vida útil del propio material. (Espí 2012)

En un estudio realizado por Geola ***et at***, 2004. Sobre dos películas de invernadero antigoteo en donde se realizaron comparaciones sobre la transmisión de luz en película húmeda envejecida con la película seca envejecida, y película húmeda nueva y seca nueva, obteniendo que la mayor trasmisión de luz sucedió en la película seca envejecida, y en la película húmeda nueva, esto demostró que el deterioro de los aditivos de las películas antigoteo sucede con el envejecimiento de las películas de invernadero.

2.8.4 Películas térmicas.

Las películas térmicas son permeables a las radiaciones infrarrojas de longitudes de onda corta (NIR) absorbidas durante el día por la planta y el suelo, e impermeables a las radiaciones de longitud durante la noche que son emitidas por el suelo y las plantas. De esa manera mantienen la 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 fríos o heladas. 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 (Espi ***et al***, 2002).

2.8.5 Películas antiplagas.

Las películas antiplagas tienen la finalidad de reducir la incidencia de algunas plagas, ya que tienen la característica de ser opacos a la radiación ultravioleta. En algunos casos se han reportado efectos adversos de estos materiales sobre los insectos polinizadores (abejorros y abejas), pero estos efectos pueden ser evitables con el adecuado manejo de las colmenas y las ventajas por la reducción de plagas son demasiado compensables. Este tipo de filmes tienen la particularidad de bloquear la trasmisión de radiación ultravioleta (290-

380 nm) al interior del invernadero. Este proceso dificulta, ralentiza o disminuye el desarrollo de plagas o enfermedades causadas por hongos o por virus transmitidos por insectos que por algún motivo sean sensibles a la disminución o ausencia de este tipo de radiación (Espi, 2012).

2.9 Propiedades ópticas de las películas de invernadero

2.9.1 Trasmitancia

Se refiere a la cantidad de radiación solar transmitida (τ) a través de la cubierta de un invernadero, está determinada por muchos factores tales como: latitud, día del año, hora del día, nubosidad (Heuvelink ***et al***. 1995), orientación y tipo de invernaderos, ángulo de techumbre, condensación interna de vapor de agua (Bouzo and Pilatti, 1999). La orientación de los invernaderos y el ángulo de techumbre son dos factores de diseño que influyen sobre la transmitancia principalmente a través del ángulo de incidencia solar. Existen otros factores que se influyen en el porcentaje de trasmitancia en las películas plásticas y se debe a las propiedades físicas del material de cubierta, como por ejemplo los tipos de aditivos que se agregan en la fabricación de las cubiertas plásticas, estos aditivos pueden ser difusores de luz, térmicos etc.., además de las imperfecciones de las cubiertas plásticas como el desgaste, la suciedad acumulada en la superficie de las cubiertas impedirá la transmitancia de la radiación solar.(Geoola ***et al***. 1994)

2.9.2 Difusión.

La radiación difusa representa una importante fracción de la radiación global que se presenta dentro de los invernaderos. (Baille 1993).

Bajo materiales de cubierta plástica la dispersión de la radiación directa incidente es mayor debido a la rugosidad de la cubierta (Pollet ***et al*** 2005). Aumentar la fracción relativa de radiación difusa por medio de una gran dispersión de luz a través del material de la cubierta puede inducir una distribución espacial más uniforme de la radiación solar dentro del invernadero con efectos beneficiosos para la homogeneidad de las plantas a la cosecha

(Dayan ***et al***., 1986 and Kurata, 1992) Las reducciones moderadas de radiación solar global mejoran el rendimiento de los cultivos (Raveh ***et al***, 2003) La cantidad de radiación difusa que entra en un invernadero es afectada por factores extrínsecos, como la deposición del polvo y condensación, el envejecimiento del material plástico y diseño de un invernadero. La influencia de gotas de condensación mejoran el proceso de difusión (Pollet and Pieters, 2002 and Pollet ***et al***. 2005 citado por Cabrera 2009)

2.9.3 Termicidad.

La termicidad es la propiedad que tienen algunas películas de invernadero, cuya función principal es disminuir la energía perdida en forma de emisión de radiación de onda larga durante la noche. Estas películas controlan el clima interior independientemente del clima que exista en el exterior siendo sus beneficios un menor gasto en otros insumos como agua, pesticidas, ahorro de combustibles, etc…

Las películas con propiedades térmicas provocan un aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero, del cultivo y del suelo, debido a la menor pérdida de radiación de onda larga por la noche y por renovación de aire. También aumenta la traspiración nocturna del cultivo, debido a que las altas temperaturas provocan principalmente la apertura estomática de las plantas, sin embargo cuando estas temperaturas sobrepasan los límites ocurre el cierre de estomas y como consecuencia una disminución de la superficie foliar (Murillo 2009)

2.10 Factores ambientales que afectan el desarrollo de las plantas dentro de un invernadero.

2.10.1 Temperatura

La temperatura de un invernadero depende del balance de energía. Para limitar las temperaturas bajas habrá que reducir las pérdidas de calor y favorecer los aportes de calor, teniendo en cuenta que al alterar algunos de los componentes del balance de energía se pueden alterar otros componentes que no se desearían modificar. Cuando los aportes naturales son insuficientes se recurren a los artificiales mediante la calefacción. La reducción de pérdidas de calor se consigue, principalmente, reduciendo las superficies de

intercambio calórico y las pérdidas por unidad de superficie, utilizando dispositivos de aislamiento y empleando cortavientos. (Castilla 2007)

La temperatura dentro del invernadero está estrechamente relacionada con el potencial de la planta. Los efectos de las altas temperaturas sobre los cultivos son el resultado de una compleja interacción entre la pérdida de agua por evaporación, los cambios en el nivel interno de agua y la modificación en otros procesos fisiológicos. El estrés por altas temperaturas causa una disminución en la actividad metabólica, la cual se considera que es consecuencia de la inactivación de enzimas y otras proteínas. Las altas temperaturas también incrementa la tasa de respiración, la cual puede sobrepasar eventualmente la tasa de fotosíntesis, deteniendo el crecimiento de la planta y finalmente matando el tejido.
Cuando las temperaturas disminuyen y llegan a ser menores que el mínimo requerido para el crecimiento, una planta puede entrar en dormancia, aun cuando la actividad metabólica continúe lentamente. En consecuencia puede ocurrir clorosis, seguida eventualmente de la muerte del tejido. La muerte causada por la baja temperatura se debe a la precipitación de las proteínas, la salida del agua del protoplasma cuando el agua intercelular se congela y la formación de cristales de hielo dentro del propio protoplasma. (Gliesman 1998)

2.10.2 Radiación

La radiación influye en la apertura y cierre de flores, movimiento de hojas y giro de tallos, si la radiación en longitudes de onda del azul es excesiva se reduce la longitud de los entrenudos. Por el contrario los entrenudos se alargan en un exceso de rojo lejano. Por ello es necesario un equilibrio entre azul y rojo lejano en el espectro de radiación para el normal desarrollo de algunas plantas (Castilla 2007)

La radiación es la fuente primaria para la fotosíntesis y bioproductividad, las plantas interceptan la energía solar para la fotosíntesis. Sin embargo menos del 5 % es utilizado en este proceso. L energía solar determina además, la temperatura a través del balance de energía a la cual los procesos fisiológicos funcionan. A parte de la fotosíntesis, la radiación solar influye en el crecimiento de las plantas y su desarrollo, dependiendo de la respuesta

de los cultivos a los procesos de fotomorfogénesis, fototropismo o fotoperiodismo. Estos, normalmente requieren solo de una pequeña cantidad de energía y de diferentes partes discretas del espectro solar tales como el azul (450 nm) rojo (660 nm) y el rojo lejano (730 nm). (Cortés 1994)

2.10.3 Déficit de presión de vapor

Es la diferencia entre la presión de saturación de vapor y la presión real de vapor durante un determinado periodo (Campos 1998, FAO 2008,). El déficit de presión de vapor (DPV) expresa la cantidad de agua que el aire, a una cierta temperatura, puede aún absorber antes de alcanzar la saturación. Desde el punto de vista biológico el DPV es de suma importancia ya que cuantifica el poder desecante del aire, e influye notablemente en la traspiración y la evaporación (Castilla 2007).

2.10.4 CO_2

La elevada concentración de CO_2 a corto plazo, aumenta la fotosíntesis (Cannell y Thornley, 1998).

Sin embargo a largo plazo, las plantas cultivadas a una elevada concentración de CO_2 pueden tener una menor tasa fotosintética, teniendo un mayor crecimiento en las plantas con una menor concentración de CO_2. (Chen ***et al***., 2005, Pérez ***et al***., 2007 y Zhang ***et al***., 2009)

La disminución de la tasa de fotosíntesis a una determinada concentración de CO_2 se definió como aclimatación fotosintética a la elevada concentración de CO_2 y se ha encontrado en tomate (Wolfe ***et al***., 1998 y Xu ***et al***., 1994)

La aclimatación fotosintética a elevado CO_2 se asoció con cambios en la conductancia estomática y morfología de la hoja, por ejemplo se encontró la disminución de la

conductancia estomática en elevada concentración de CO_2 en algodón, tomate y soya (Ainsworth ***et al***., 2002, Sasek ***et al***., 1985 y Yelle ***et al***., 1990).

A una elevada concentración de CO_2 existe un aumento en el espesor de la hoja, y como consecuencia mayor peso de la hoja en soya y tomate (Besford ***et al***., 1990, Clough y Peet, 1981)

2.11 Tipos de radiación que afectan el crecimiento de las plantas dentro del invernadero

Las propiedades ópticas de las películas de invernadero, son las características que presentan dichas películas al comportamiento sobre las distintas longitudes de onda que presenta la radiación solar, dicho de otra manera es la trasmitancia que presenta las películas ante la radiación solar.

2.11.1 Radiación infrarroja

La radiación Infrarroja cubre los siguientes rangos: infrarrojo cercano (NIR) 780-3000 nm, infrarrojo medio (MIR) 3000-50 000 nm e infrarrojo lejano (FIR) 50 000-106 nm.

La radiación infrarrojo cercana NIR conduce al aumento de la temperatura del aire dentro del invernadero, la calefacción ocasionada por la radiación global es deseada para los meses fríos, pero no durante meses calientes, debido a que se han mostrado resultados de demasiadas temperaturas en el interior de los invernaderos y la reducción de la productividad de los cultivos (Mavrogianopoulos 2001)

Según Sonneveld ***et at*** 2010 mediante el bloqueo de NIR, se modifica la cantidad y calidad de radiación que entra en el invernadero. Señala que esta modificación espectral puede lograrse mediante el uso de materiales de cubierta específicos, que ayudan a disminuir la temperatura en el interior del invernadero, así la radiación de onda larga que es emitida por las superficies calientes puede ser reducida y adquirir la capacidad de refrigeración requerida.

La radiación infrarroja lejana e infrarroja cercana son conocidas como radiación calorífica y responsables de crear el calor sensible dentro del invernadero. La radiación infrarroja lejana e infrarroja corta son las responsables de la fotomorfogénesis de las plantas, que tienen que ver con el desarrollo de las plantas. (Sonnevelveld ***et at*** 2010)

2.11.2 Radiación ultravioleta

Los efectos de la radiación ultravioleta en materia biológica se convirtió en un tema importante en las últimas décadas puesto que los cambios provocados por el hombre en la atmósfera afectaron la capa de ozono que cubre y protege la superficie de la tierra de la radiación ultravioleta perjudicial (McKenzie 2011).

La radiación solar total que entra en el interior de un invernadero puede dividirse en Ultravioleta (UV), Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) Y el Infrarrojo cercano (NIR). Asimismo la radiación UV se divide en tres longitudes: UV-a (320-400 nm), UV-b (280-320nm), UV-c (100-280nm), mientras que la PAR se encuentra en longitudes de onda entre 400 y 700 nm (Chou 2008)

2.11.3 Radiación UVa

La radiación UVa es la parte más importante de la radiación ultravioleta y es la mayor radiación que penetra en mayor cantidad el tejido humano, por lo que resulta ser la menos perjudicial en cuanto al daño del ADN. (Gruijl ***et al***., 1993; Garland ***et al***., 2003)

En una investigación realizada por Tezuka ***et al*** en 1994 sobre plantas de rábano, encontraron que el crecimiento de las plantas de rábano fue promovido por la radiación Uv-a, asociándose con el aumento de clorofila y actividades fotosintéticas. Además las actividades del nitrato reductasa, los niveles de proteína soluble, los niveles de vitamina c (ácido ascórbico + ácido dehidroascórbico) y de coenzimas Nicotidamida (NAD (H) Y NADP (H)) en las hojas y el sistema raíz que incluye el tejido del tallo de las plantas de rábano, también fueron elevados por la radiación UV-a. (320- 400)

2.11.4 Radiación UVb

La radiación Ultravioleta UV-b es un componente importante del medio ambiente actuando como un factor eco fisiológico con el potencial de alterar el crecimiento vegetal y fotosíntesis (Caldwell ***et al***, 2007 y Ballaré ***et al***, 2011).

Se han realizado investigaciones sobre la radiación UV-b informando que induce la pérdida de actividades enzimáticas en el ciclo de Calvin, con especial énfasis en la disminución directa de la enzima ribulosa 1,5 difosfatocarboxilasa (rubisco) que cataliza a la incorporación de CO2 en el ciclo de Calvin. La radiación UV-a es una de las menos dañinas en los cultivos, sin embargo, este tipo de radiación comprende una longitud de onda de 320 a 400 nm, la cual es importante para la visibilidad de los insectos causantes de virosis, por lo que la reducción de la radiación uv-a dentro de los invernaderos causará un control de virosis en el cultivo (290-320 nm (Carrasco, 2009).

2.11.5 Radiación UVc

Es la más peligrosa e incompatible con la vida, se ubica entre los 100 nm y 290 nm. Afortunadamente son detenidos por la atmósfera evitando que alcancen la superficie de la tierra. (Soto 2010)

Sin embargo la los seres vivos pueden ser expuestos a estos tipos de radiación por lámparas UV que no son cubiertas por los cristales, soldadura de arco eléctrico con escudos defectuosos y también de los rayos del sol debido al agotamiento de la capa de ozono. (Zhang 1997).

La radiación UVc es un oxidante muy poderoso en la naturaleza, por su propiedad de oxidación de la carga creciente del radical de las células, puede causar efectos perjudiciales como la peroxidación del lípido de las membranas de la célula y también la muerte celular si se acumula sobre cierto nivel. (Goswami ***et al*** 2013)

2.11.6 Radiación Directa

Según Meinel 1982, la radiación solar directa se refiere al flujo solar que llega al colector sin haber sufrido ninguna dispersión al atravesar la atmósfera. Esta radiación procede del disco geométrico del Sol y es la componente de la luz solar que se enfoca mediante un sistema óptico dando una imagen del disco del sol. Despreciamos la cantidad de luz dispersa muy pequeña que se superpone sobre el disco del sol respecto al propio del mismo

Se entiende como radiación solar directa, aquella que incide sobre una superficie y llega directamente del sol, sin sufrir cambios de dirección. Bajo condiciones de atmósfera limpia y estando el sol en su cenit, la irradiancia que recibe un captador solar se estima en 1 000 w/m^2, como valor promedio normalizado. (Viloria 2011)

.

2.11.7 Radiación difusa

La radiación difusa es aquella que proviene de diversas direcciones, debido a que son reflejados, desviados por el plástico que contienen los invernaderos, este tipo de radiación actúa de una manera más eficiente para el cultivo ya que hay una mayor distribución de la radiación para el cultivo, anteriormente las primeras cubiertas para invernadero no tenían propiedades difusión y el cultivo se veía afectando por la radiación directa, que es la radiación que lleva una trayectoria recta, y provoca el sombreo entre las hojas, a diferencia de la radiación difusa que penetra mejor en la vegetación. La suma de las radiaciones directa y difusa constituye la radiación total o global. (Rodríguez 2010).

2.11.8 Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

La radiación solar comprendida entre las longitudes de onda de 400-700 nm, denominada radiación fotosintéticamente activa (PAR) al ser responsable del proceso de fotosíntesis de las plantas. Altos valores de transmisión de radiación PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales, nuevos incrementos de la

radiación no se traducen en aumentos en la tasa fotosintética de las plantas. (Iglesias y Muñoz 2007).

La radiación fotosintéticamente activa ha sido establecida como uno de los factores determinantes para calcular los rendimientos potenciales de los cultivos. (De Castro y Fetcher, 1998; Wünsche, 2000)

Según Vos y Van der putten 2001 las plantas tienen sus propias características para captar luz y su habilidad para utilizarla en la fotosíntesis. En un experimento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) mostraron que las hojas sombreadas con poca cantidad de luz disponible en su superficie, envejecieron más rápido y acumularon menor cantidad de nitrógeno que hojas sometidas a un adecuado flujo de fotones de luz fotosintéticamente activa.

2.12 Trabajos realizados en análisis de crecimiento en Hortalizas.

Bruggink et al. 1987 Realizó un estudio en Tomate, pimiento y pepino, sembrándose en un mismo invernadero a intervalos regulares durante todo el año. Encontrando que existe una relación entre la tasa de crecimiento relativo y el promedio diario de la Radiación fotosintéticamente activa entrante por unidad de superficie. Se realizó un análisis de crecimiento en 4 intervalos de peso seco entre 20 y 2460 mg. Encontrando que la tasa de crecimiento para tomate y pepino fue el mismo; la tasa de crecimiento relativo de pimiento fue menor en un 25 %.

La tasa de crecimiento relativo puede considerarse como el producto de la tasa de asimilación neta (TAN) y relación de área foliar. La TAN en bajas intensidades de luz en plantas de tomate reaccionaron más fuertemente a los cambios en la intensidad de luz, o sea que existió una mayor eficiencia en el uso de la luz. La tasa de crecimiento relativo inferior del pimiento fue causado debido a la baja relación de área foliar (RAF), causado por el hecho de que el pimiento tiene hojas más gruesas que pimiento y tomate.

Bruggink 1992 realizó análisis de crecimiento con plantas jóvenes de tomate y clavel, que crecen en un invernadero en diferentes integrales de luz diarias promedios; los integrales de luz fueron creados por el sombreado, el uso de luz adicional. Encontrándose que la tasa de asimilación neta (TAN) fue de manera similar, tanto el tomate como el clavel. Las mediciones de fotosíntesis confirman la similitud de las dos especies en la actividad fotosintética. En contraste la tasa de crecimiento relativo (TCR) fue mayor para el tomate debido a una mayor proporción del área foliar. Para ambas especies el reciproco del área foliar está relacionado linealmente con la (TAN). Se calcularon las sensibilidades de (TAN) y (TCR) integral. La sensibilidad de Tan a Tan aumenta con el aumento de los niveles de Tan y fue considerablemente mayor para el tomate que para el clavel. La tasa de crecimiento de las plantas jóvenes de clavel estaba más estrechamente relacionada con el nivel de media diaria integral ligero que el de las plantas de tomate joven. Se concluye que para el tomate y especies de clavel, que tienen tasas de crecimiento muy diferente, se pueden utilizar modelos similares para describir el crecimiento.

En un estudio realizado por Max ***et. al***. en el centro de Tailandia en el año 2005, sobre cuatro invernaderos, en cultivo de tomate, dos de ellos fueron cubiertos con malla sombra y ventilados mecánicamente cuando la temperatura supera los 30 ° c, y los otros dos invernaderos se cubrieron con películas de polietileno y equipados con un ventilador y con almohadilla de refrigeración, teniendo en cuenta que en las películas de polietileno se redujeron la temperaturas 2.6 y 3.2 °c, en relación con la temperatura de Malla-sombra y la temperatura exterior. Se tuvo una mayor humedad relativa alrededor del 20 y 30 % más en la película de polietileno que la malla-sombra y la humedad relativa exterior, además de que el consumo de agua fue significante más bajo en los invernaderos de películas de polietileno. Se obtuvo un rendimiento de fruto similar, (6.4 kg planta) en la malla-sombra, y (6.3 kg planta en las películas de polietileno), existió una mayor incidencia en el rajado del fruto en las películas de polietileno, debido a la mayor cantidad de humedad relativa, concluyendo que en las regiones tropicales de alta humedad relativa, sin modificaciones técnicas de deshumidificación, no mejorará la producción de tomate en sistemas protegidos.

III. Materiales y Métodos.

3.1 Localización del sitio experimental

El lugar donde se realizó la investigación está ubicado en las coordenadas 24°42’56” latitud N, 101°07’54” longitud W y una altitud de 1083 msnm; en el rancho conocido como “Las Motas” (Fig. 1), perteneciente al municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. En el km 35 de la antigua carretera Saltillo-Monclova.

Figura 3.1. Ubicación del sitio de estudio.

3.2 Producción de plántula

En el proceso de producción de plántula, se utilizó semilla de tomate tipo uva (*Solanum lycopersicum* L. cv. Sweet Hearts) de la empresa SAKATA. Este hibrido es de crecimiento indeterminado, muy prolífico, planta de vigor medio altamente productiva, recomendado para cultivos en invernadero o malla sombra en donde se tendrán mayores producciones. Para la producción de plántula se utilizaron charolas de poliestireno con 200 cavidades, las

cuales fueron desinfectadas con cloro a una concentración del 5 %, después fueron lavadas con suficiente agua y por último se realizó la siembra de la semilla

El sustrato utilizado para la siembra fue Peat Moss PGX (sustrato a base de turba para germinación y crecimiento de plántulas). Se colocó una semilla por cavidad en cada charola (Fig. 3. 2), las cuales después de la siembra se regaron y se estibaron, después se cubrieron con un plástico negro y se colocaron en un invernadero de mediana tecnología para facilitar la emergencia. El riego con agua sola se llevó a cabo todos los días y a partir de una altura de 5 cm de las plántulas se aplicó el riego con solución nutritiva (Cuadro 3.1) para el fortalecimiento de las plántulas.

. **Cuadro 3.1** Solución nutritiva que se utilizó para regar las charolas.

Cantidades de fertilizantes utilizados en gramos en cada 20 litros de agua	
$Ca(NO_3)^2$	5.902 g
KNO3	8.088 g
KH2 PO4	2.044 g
HNO3	3.6 ml
H2SO4	3.5 ml

Las plantas se regaron todos los días hasta que estuvieron listas para ser trasplantadas.

Figura 3.2 Siembra de la semilla en las charolas de poliestireno.

3.3 Descripción de los invernaderos empleados.

Se construyeron tres estructuras tipo túnel de mediana tecnología con las dimensiones de 23 metros de longitud y 6 metros de ancho, teniendo una altura de lateral de 2 metros y 4.5 metros de altura cenital, con orientación norte-sur.

3.4 Construcción de los invernaderos

Para la construcción de las estructuras, fue necesario la utilización de tubos galvanizados de dos pulgadas (Fig. 3.3). Se realizó la medición y nivelación del terreno en donde se deseaba instalar la estructura.

Las dimensiones de estas estructuras fueron: Ancho de 6 m; Largo de 23 m; altura lateral de 2 m y altura central de 4.5 m.

Figura 3.3 Instalación de los tubos galvanizados para formar la estructura del invernadero.

Después de colocar los tubos galvanizados, fue necesario la colocación de los arcos, de igual manera galvanizados, los cuales iban en los extremos de dos tubos, estos arcos fueron atornillados, para brindar una mejor sujeción con los tubos galvanizados. (Fig. 3.4)

Figura 3.4 Colocación de los arcos galvanizados en los tubos.

Para el caso de las estructuras de los dos invernaderos de prueba, fue necesario colocar, sobre los tubos, los sujetadores, con la ayuda de un taladro y atornillados. Después de ello se procedió a colocar una malla anti insecto en las paredes laterales de los invernaderos, para después realizar la colocación del plástico en la parte superior de los arcos. El proceso se repitió en los dos invernaderos, los cuales fueron diseñados con una ventilación cenital y lateral.

En el primer invernadero se colocó la película plástica formulada en CIQA, en el segundo se colocó la película plástica convencional, y en la tercer estructura se colocó una malla-sombra con un 35 % de sombreo (descritas en el punto 3.8.8 de esta sección), la cual corresponde al sistema de producción tradicional que utilizan los agricultores de la región. (Fig. 3.5)

Figura 3.5 Estructuras de izquierda a derecha (malla-sombra, invernadero convencional, invernadero CIQA)

3.5 Preparación del terreno.

Se realizó un barbecho y dos pasos de rastra antes de la construcción de las estructuras, con un tractor agrícola. Después del barbecho se incorporó materia orgánica en cada uno de los tratamientos (aproximadamente 28.5 ton/ha), para suministrar los nutrientes al suelo, una vez incorporado la materia orgánica, se procedió a formar manualmente tres camas a una distancia de 1.6 metros entre camas. (Fig. 3.6)

Figura 3.6. Realización de las camas de forma manual**.**

3.6 Instalación de cintillas y acolchado.

La instalación del sistema de riego se realizó colocando dos líneas de cintilla en la parte superior de la cama (Fig. 3.7), utilizando cintillas con goteros a 30 cm de distancia con un gasto de 380 L/hr/100 m a una presión de 8 a 10 psi; y enseguida se instaló el acolchado plástico con una película coextruida en blanco y negro, dejando la parte blanca hacia el exterior, con el objetivo de impedir el desarrollo de malezas sobre la cama y así evitar el uso de herbicidas para el control de las mismas.

Figura 3.7 Colocación de las cintillas de riego sobre las camas.

Después de la colocación del acolchado se cubrió con malla suelo "Ground cover" de color blanco, en la superficie interior de los invernaderos convencional y CIQA con la finalidad de evitar el crecimiento de malezas, que pudiesen ser el hospedero de plagas y enfermedades.

3.7 Trasplante y Nutrición.

El trasplante de las plántulas se realizó a los 35 días después de la siembra, la distancia entre plantas fue de 40 cm, usando un sistema de siembra a tres bolillos. Se tuvo uno densidad de plantación de 3.1 plantas por metro cuadrado. Antes de realizarse el trasplante se procedió a dar un riego hasta capacidad de campo del terreno, para iniciar con perfil recargado de humedad. Después del riego se instalaron los tensiómetros, con la finalidad de mantener un control sobre el riego del cultivo. Se colocaron dos tensiómetros por cada estructura, a una profundidad de 25 y 50 cm respectivamente. La nutrición fue formulada

mediante los análisis de suelo y agua que se realizaron con anterioridad, a través de estos análisis se logró conocer las deficiencias nutrimentales que existen en el agua y suelo, para después realizar un balance nutrimental adecuado (Cuadro 2). Los riegos se dieron cuando los tensiómetros marcaron 30 centibares (cb), se dieron riegos prolongados hasta bajar la lectura del tensiómetro a 15 centibares (cb).

Cuadro 3.2. Solución nutritiva utilizada en el agua de riego.

Nitrato de calcio	1.81 gr/l
Nitrato de potasio	0.708 gr/l
Fosfato monopotásico	0.272 gr/l
Sulfato de potasio	0.697 gr/l
Ácido nítrico	0.045 ml/l
Ácido sulfúrico	0.282 ml/l
Micronutrientes	0.01 ml/l

Los riegos se realizaron según a las mediciones realizadas por los tensiómetros, en el cual se utilizó un sistema de riego por goteo.

3.8 Manejo del cultivo

3.8.1 Eliminación de brotes

Como el cultivo es de crecimiento indeterminado fue necesario la eliminación de los brotes axilares (Fig. 3.8) debido a que el cultivo es manejado a un solo tallo, puesto que los brotes axilares quitan el vigor a la planta, consumiendo los nutrimentos que son necesarios para el desarrollo de la planta, estos brotes presentan problemas debido a que si persisten en la planta, crecen desarrollando un nuevo tallo el cual necesita de nutrientes para desarrollarse.

Además esos brotes laterales dan una deformación a la planta, dificultando la cosecha y el manejo de la planta.

Figura 3.8. Se muestran los brotes axilares que fueron quitados a la planta.

3.8.2 Tutorado

Fue necesario realizar el tutorado de las plantas (Fig. 3.9), con la finalidad de conducir su crecimiento verticalmente, para ello se necesitó rafia de color blanco de polietileno; por cada planta se necesitó 3 metros de rafia la cual fue enrollada en un gancho metálico especialmente para tutoreo, el gancho estaba sujeto a un cable de acero colocado paralelamente al surco a una altura aproximada de dos y medio metros. Como el cultivo es a doble hilera, se tienen dos cables de acero por surco en cada invernadero. La rafia se amarró en el tallo de la planta a unos 5 cm arriba del acolchado, dicha rafia se enredó a la planta en forma de espiral, para sostener la planta hacia su crecimiento vertical.

Figura 3.9. Se observa el tutorado que se les dio a las plantas dentro de cada invernadero.

3.8.3 Deshoje

La finalidad del deshoje es eliminar las hojas viejas, mejorar la ventilación de la planta, además de eliminar las hojas indeseables, mejorando el aprovechamiento de la radiación PAR. El deshoje de las plantas se realizó eliminando todas las hojas que se encontraban debajo del primer racimo floral, de esta manera al eliminar las hojas, facilitaba las labores dentro del invernadero como la aplicación de insecticidas, además de evitar algún posible inoculo de infección.

3.8.4 Deshierbes

Aunque hubo acolchado los deshierbes se realizaron en forma manual en donde, en el interior del invernadero, y periódicamente para evitar el desarrollo de hierbas y malezas que pudieran actuar como hospederos de plagas y enfermedades, también fue necesario realizar la limpieza afuera de los invernaderos, alrededor de cada uno de ellos con la ayuda de un

azadón, esto con la finalidad de mantener limpia la zona, evitando que existieran focos de infección de plagas que pudieran presentarse en la maleza.

3.8.5 Cosecha

Se muestrearon 20 plantas por invernadero, se cosecharon los frutos, se pesaron y se anotaron el número de frutos que presentaba cada una de las 20 plantas por invernadero, para llevar un control y realizar los análisis estadísticos correspondientes, realizando las comparaciones de los rendimientos entre los invernaderos y malla sombra.

Además, la primera cosecha se realizó aproximadamente a dos meses después del trasplante, después las cosechas se realizaron aproximadamente cada ocho días, teniendo en total de 11 cortes en el ciclo, los frutos que se cosecharon fueron aquellos que tenían la madurez fisiológica, que presentaran un color rojo, además de aquellos frutos que se encontraran estrellados, o sea que en la parte inferior tuviese la formación de una estrella, la cual quiere decir que el fruto está próximo a madurar.

La cosecha se realizó de forma separada en cada invernadero y malla sombra, con la ayuda de botes de plástico de una capacidad de 20 litros, para ir depositando los frutos maduros y finalmente colocarlos en pequeñas rejas de plástico de 20 kilogramos aproximadamente.

La cosecha total de cada invernadero y malla sombra se pesó por medio de una báscula mecánica con muelle elástico se anotaron los resultados de la cosecha de cada invernadero y malla sombra y se realizaron las comparaciones correspondientes.

3.8.6 Pinzado de plantas

El pinzado de las plantas se realizó con la intención de finalizar el crecimiento vertical y dar oportunidad a los frutos remanentes de madurar para así terminar con esta investigación, dicho pinzado de planta se realizó a los 4 meses después del trasplante.

3.8.7 Control fitosanitario

Para la desinfección de suelos y prevención de enfermedades causadas por el ataque de *Rhizoctonia* se utilizó PCNB (Quíntoceno) en una dosis de 600 ml/ 1000 l, aplicándose directamente en el sistema de riego. Se aplicó Previcure (propamocarboclorhidrato) en una dosis de 2.45 gr/l, para la prevención de enfermedades causadas por *Pythium sp*, *Phytophthora nicotianae (*Pudrición de raíces y cuello*), Phytophthora infestans* (Tizón tardío).

Para la prevención de enfermedades como Antracnosis (*Colletotrichum phoimdes*), Mancha de la hoja (*Septoria lycopersici*), Moho gris (*Cladosporium fulvum*), Pudrición del fruto (*Botrytis cinerea*) se utilizó Cupertran (11.7 ml/l), Óxido cúprico (11.7 ml/l) y Benomilo (Promyl). 2g/ l

Para la prevención de la mosquita blanca (*Bemesia tabacci*) se utilizó Giro, un insecticida de amplio espectro, este insecticida siguió aplicándose cuando se dio un brote de plaga de mosquita blanca utilizando 2 ml de insecticida en cada litro de agua, alternándose semanalmente con aplicaciones de jabón en polvo a una concentración de 0.5gr por litro, todas las aplicaciones contra la mosquita blanca se realizaron con una bomba de aspersión tipo mochila de una capacidad de 15 litros.

3.8.8 Descripción de tratamientos.

Se utilizaron tres tipos de cubiertas plásticas, formando los siguientes tratamientos:

T1= CIQA, dicho invernadero contiene una cubierta plástica diseñada en el Centro en Investigación de Química Aplicada, con propiedades de difusión del 80 %, además de trasmitancia de la radiación infrarroja cercana del 20.8 %, y trasmitancia de PAR del 40 %.

T2= Convencional. Invernadero de cubierta plástica convencional fabricada por industrias Culiacán S.A de C.V. (ICUSA), con características de alta trasmisión de radiación

fotosintéticamente activa (PAR) alrededor del 80 %, poca difusión (40 %) y un porcentaje de transmitancia de radiación infrarroja del 79 %.

T3= Malla sombra, esta es una malla tejida tipo Rachel anudada de cinta de polietileno color negro, con un 35 % de sombreo, cuya transmisión de radiación PAR es del 60 % y difusión del 15 %, este tipo de malla es la que se utiliza tradicionalmente en la región para la producción de diversos tipos de hortalizas.

3.9 Análisis estadístico.

Debido a la naturaleza del trabajo con estructuras de invernadero y no poder tener repeticiones de cada invernadero, para realizar los análisis de varianza y la comparación de medias de las variables, se utilizó el modelo general lineal (GLM) en el SPS Statistic versión 11., El número de tratamientos fueron tres: 1= Invernadero con cubierta plástica CIQA 2= Invernadero con cubierta Convencional 3= Malla-sombra tipo Rachel. Se tomaron 3 repeticiones de cada tratamiento para el análisis de crecimiento, 20 repeticiones para los análisis de rendimiento y 20 repeticiones para el análisis de calidad de los frutos.

3.10 Toma de datos:

3.10.1 Muestreos de variables de crecimiento

Se realizaron cuatro muestreos destructivos (Cuadro 4.3.) con tres repeticiones, en donde se midió las variables: peso seco de tallo, peso seco de hojas, peso seco de flor, peso seco de frutos y área foliar; los muestreos consistieron en cortar tres plantas por tratamiento, las cuales se separaron en cada una de sus partes (hojas, tallos, flores y frutos), después de separadas las hojas para determinar el área foliar (Fig. 3.10) se utilizó el medidor de área foliar (LI-COR.inc, modelo LI-3100). Este tipo de procedimiento consiste en tomar cada uno de los foliolos que tiene la hoja de cada planta, pasarlo por una banda rotatoria, al pasar los foliolos en la banda arroja los resultados de la medición del área foliar con unidades en cm2. Posteriormente para obtener los pesos secos de cada una de las partes se colocaron por

separado cada parte de la planta en bolsas de papel estraza y posteriormente fueron llevadas a una estufa de secado (Felisa, modelo 293A) a una temperatura de 75 °C durante 48 horas para deshidratarla, finalizando con el pesado de las muestras en una balanza analítica (Denver Instrument Company, modelo AL-3K) para obtener los resultados de peso seco de cada parte y proceder a realizar los cálculos de los diferentes índices de crecimiento.

Cuadro 3.3. Fechas y días después de siembra en que se realizaron los muestreos destructivos.

Muestreo	Fecha
1	2 de julio 2012 (28 ddt)
2	26 de julio 2012 (52 ddt)
3	20 de agosto 2012 (77 ddt)
4	7 de septiembre 2012 (95 ddt)

Figura 3.10. Medidor de área foliar (LI-COR inc.)

3.10.2 Muestreo de rendimiento de fruto

Para la variable rendimiento se tomaron los datos de número de frutos cosechados por planta, y el peso de los frutos por planta, en donde se tomaron 20 plantas por invernadero, en un total de 11 cosechas (cuadro 3.4) para después hacer comparaciones entre los rendimientos de cada invernadero. Los frutos fueron colocados en charola de poliestireno y fueron pesados (fig.3.11) en una balanza (OHAUS, modelo Triple Beam 700/800 Series).

Figura 3.11. Báscula utilizada para conocer el peso de frutos por tratamiento.

Cuadro 3.4 Fechas en que se realizaron los muestreos de rendimiento de fruto

Muestreo	**Fecha**
1	24 julio 2012 (50 ddt)
2	31 julio 2012 (57 ddt)
3	8 agosto 2012 (65 ddt)
4	14 agosto 2012 (71 ddt)
5	21 agosto 2012 (78 ddt)
6	28 agosto 2012 (85 ddt)
7	5 septiembre 2012 (93 ddt)
8	12 septiembre 2012 (100 ddt)
9	19 septiembre 2012 (107 ddt)
10	10 de octubre 2012 (127 ddt)
11	26 octubre 2012 (143 ddt)

3.10.3 Muestro de calidad de fruto

Para analizar la calidad de fruto se separaron los frutos por tamaños, en tamaño de fruto chico, mediano y grande. En cada tratamiento se seleccionaron 5 frutos chicos, 5 frutos medianos y 5 Frutos grandes, para después tomar las mediciones del diámetro polar y ecuatorial con la ayuda de un calibrador digital vernier (truper, modelo 14388). Para el muestro de calidad de fruto se realizaron tres muestreos (cuadro 3.5); en cada muestreo se tomaron 5 frutos de cada tamaño sumando un total de 15 frutos por tratamiento.

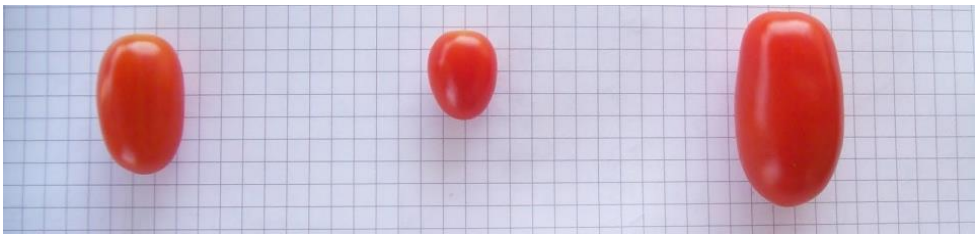

Figura 3.12. Tamaños representativos de cada una de las divisiones del tamaño de fruto seleccionadas: de izquierda a derecha (mediano, chico y grande) (30, 23, 39 mm de diámetro polar)

Cuadro 3. 5. Fechas de los muestreos de calidad de fruto.

Muestreo	Fecha
1	8 de agosto 2012 (65 ddt)
2	30 de agosto 2012 (83 ddt)
3	12 de septiembre de 2012 (96 ddt)

3.11 Datos de microclima

Los factores micro climáticos son de suma importancia para saber las condiciones en que se desarrolla el cultivo, ya que estos factores climáticos influyen en el crecimiento del cultivo. Los factores micro climáticos más importantes dentro del invernadero son: La radiación, temperatura y humedad relativa. Estos factores afectan directamente al rendimiento del cultivo y se determinaron de la siguiente forma:

3.12 Radiación Fotosintéticamente Activa PAR

Para los datos de radiación se utilizaron sensores (LI-COR, modelo QUANTUM), los cuales almacenaban la información un data logger (LI-COR, modelo Ll-1000) cada diez minutos; promediándose cada hora y obteniéndose cada mes los datos correspondientes.

Figura 3.13 sensor utilizado para medir PAR dentro de cada invernadero.

3.13 Temperatura y Humedad Relativa

Para determinar la temperatura y humedad relativa se utilizaron sensores tipo HOBO, modelo Pro V2, en los que se registraron los datos cada diez minutos promediándose cada hora y obteniéndose cada mes. Estos sensores fueron colocados en una garita de madera (fig. 3.14) y se colgaron dentro del invernadero, con la finalidad de que la información no se viese alterada.

Toda la información generada por estos sensores fue descargada en una computadora, la cual se conectaba al data logger para bajar la información requerida.

Figura 3.14. Garita de madera utilizada para proteger el sensor tipo HOBO.

3.14 Variables evaluadas

3.14.1 Tasa de crecimiento relativo total

La tasa de crecimiento relativo señala el crecimiento existente de un tiempo a otro, dicho de otra manera indica la acumulación de biomasa de la planta de un tiempo 1 a un tiempo 2. independientemente del área foliar que tenga.

Para conocer la tasa de crecimiento relativo total (biomasa acumulada) es necesario conocer el peso seco de cada componente de la planta, como tallos, hojas, flor, frutos, para después realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$TCR \text{ total} = \frac{\ln(\text{ps total } 2) - \ln(\text{ps total } 1)}{\text{dias}}$$

Dónde:

TCR total = tasa de crecimiento relativo total.

ln (ps total2) = logaritmo natural de peso seco total tiempo 2 expresada en gramos (g)

ln (ps total1) = logaritmo natural de peso seco total tiempo 1 expresada en gramos (g)

3.14.2 Tasa de crecimiento relativo de tallo

Se refiere a la velocidad de acumulación de biomasa de tallo de un tiempo a otro, la fórmula para calcular dicha tasa de crecimiento es la siguiente:

$$TCR\ tallo = \frac{\ln(ps\ tallo2) - \ln(ps\ tallo1)}{dias.}$$

TCR tallo= tasa de crecimiento relativo tallo.

ps tallo2= = logaritmo natural de peso seco tallo tiempo 2 expresada en gramos (g)

ps tallo1== logaritmo natural de peso seco tallo tiempo 1 expresada en gramos (g)

3.14.3 Tasa de crecimiento relativo hoja.

La tasa de crecimiento relativo de la hoja nos indica que tanto acumula de biomasa de hoja de un determinado tiempo a otro y se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{TCR } hoja = \frac{\ln(ps\ hoja2) - \ln(ps\ hoja1)}{dias}$$

Dónde:

TCR hoja= tasa de crecimiento relativo de la hoja

Ps hoja2= = logaritmo natural de peso seco de las hojas en el tiempo 2

Ps hoja1= = logaritmo natural de peso seco de las hojas en el tiempo 1

3.14.4 Tasa de crecimiento relativo fruto

La tasa de crecimiento relativo de fruto (TCR fruto) nos indica que tanto acumula de biomasa el fruto de un período a otro de un tiempo 1 a un tiempo 2.

$$TCR\ fruto = \frac{\ln(ps\ fruto2) - \ln(ps\ fruto1)}{dias}$$

Dónde:

TCR fruto= tasa de crecimiento relativo de fruto

Ps fruto2= = logaritmo natural de peso seco de fruto en el tiempo 2

Ps fruto1= = logaritmo natural de peso seco de fruto en el tiempo 1

3.14.5 Tasa de crecimiento relativo flor

La tasa de crecimiento de flor se expresa en la siguiente ecuación e indica a parte de la biomasa acumulada el inicio a floración y posible precocidad en la floración :

$$TCRflor = \frac{ln(ps\ flor2) - ln(ps\ flor1)}{dias}$$

Dónde:

TCR flor= tasa de crecimiento relativo de flor

Ps flor2= = logaritmo natural de peso seco de flor en tiempo 2 expresada en gramos (g)

Ps flor1= = logaritmo natural de peso seco de flor del tiempo 1 expresada en gramos (g)

3.14.6 Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta (TAN) se refiere a la cantidad de peso seco total de la planta en relación al área foliar de la misma en un determinado tiempo, se puede expresar en gramos por metro cuadrado, por día. Conociendo la TAN podemos saber la cantidad de biomasa existente por día de cada planta por unidad de área foliar.

$$TAN = \frac{(ps\ total2 - ps\ total1)}{dias} * \frac{\ln(af2) - \ln(af1)}{af2 - af1}$$

3.14.7 Razón de peso foliar

La razón de peso foliar nos indica que tanto corresponde al peso seco de la hoja, en relación con el peso seco total de la planta, dicho de otra manera explica, cuantos gramos de hoja existen por cada gramo de peso seco total de la planta.

La fórmula para calcular la razón de peso foliar es la siguiente:

$$RPF = \frac{\frac{ps\ hoja\ 1}{ps\ total\ 1} + \frac{ps\ hoja2}{ps\ total\ 2}}{2}$$

Dónde:

RPF= Razón de peso foliar

Pshoja1= Peso seco de las hojas en el tiempo 1expresada en gramos (g)

Pshoja2= peso seco de las hojas en el tiempo 2 expresada en gramos (g)

Ps total1 = peso seco total de la planta en el tiempo 1 expresada en gramos (g)

Ps total2= peso seco total de la planta en el tiempo 2 expresada en gramos (g)

3.14.8 Razón de área foliar

Nos indica la superficie existente de la hoja en relación al peso seco total de la planta., si tenemos la razón de área foliar en $cm^2.g^{-1}$ esto explica que tanta superficie de hoja en cm^2 existen por cada gramo del peso de la planta.

La fórmula para obtener la razón de área foliar es la siguiente:

$$RAF = \frac{\frac{af1}{pst1} + \frac{af2}{pst2}}{2}$$

Dónde:

RAF= razón de área foliar

Af1= área foliar del tiempo 1 en cm^2

Af2= área foliar del tiempo 2 expresada en cm^2

Pst2= peso seco total tiempo 2

Pst1=peso seco total tiempo 1

3.14.9 Área foliar específica

Esta variable se puede interpretar como la relación de área foliar y el peso de la hoja, se expresa en m^2 (hoja) kg^{-1} (hoja) o cm^2 (hoja) g^{-1}(hoja).

La fórmula para determinar el Área foliar específica es la siguiente:

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

Dónde:

AFE= Área foliar específica

RAF= Razón de área foliar

RPF= Razón de foliar.

3.14.10 Índice de eficiencia crecimiento del fruto

El índice de eficiencia de crecimiento del fruto nos indica la cantidad de peso seco de fruto de la planta en relación al área foliar de la misma en un determinado tiempo, se puede expresar en gramos por metro cuadrado, por día

La fórmula para obtener el índice de eficiencia de crecimiento de fruto (IECF) es la siguiente:

$$Iecf = \frac{ps\ fruto2 - ps\ fruto1}{(t2 - t1)} * \frac{ln(af2) - ln(af1)}{af2 - af1}$$

Dónde:

IECF= Índice de eficiencia de crecimiento del fruto

Ps fruto2= peso seco del fruto en el tiempo dos expresado en gramos (g)

Ps fruto1= peso seco del fruto en el tiempo uno expresado en gramos (g)

t2= tiempo dos expresado en días después del trasplante (ddt)

t1= tiempo uno expresado en días después de trasplante (ddt)

af2= Área foliar del tiempo dos expresada en m^2

af1= Área foliar del tiempo uno expresada en m^2

3.14.11 Coeficiente de partición de biomasa

El coeficiente de partición de biomasa (CPB) nos indica los el porcentaje de peso que tiene cada componente en relación con el peso total de la planta y es de suma importancia para conocer cómo se distribuyen los fotosintatos en la planta

$$CPB = \frac{peso\ seco\ de\ componente}{peso\ seco\ total}$$

CPB = Coeficiente de partición de biomasa

peso seco de componente correspondiente (tallo, hojas, flores, frutos etc.)

IV. Resultados y discusión.

4.1 Radiación

La toma de los datos de la radiación PAR se realizó en tres periodos, en el primer periodo se realizó la toma de datos del 2 al 26 de julio (figura 4.1) para posteriormente realizar el promedio de los días. Al inicio del día existe una similitud de radiación PAR en todos los tratamientos.

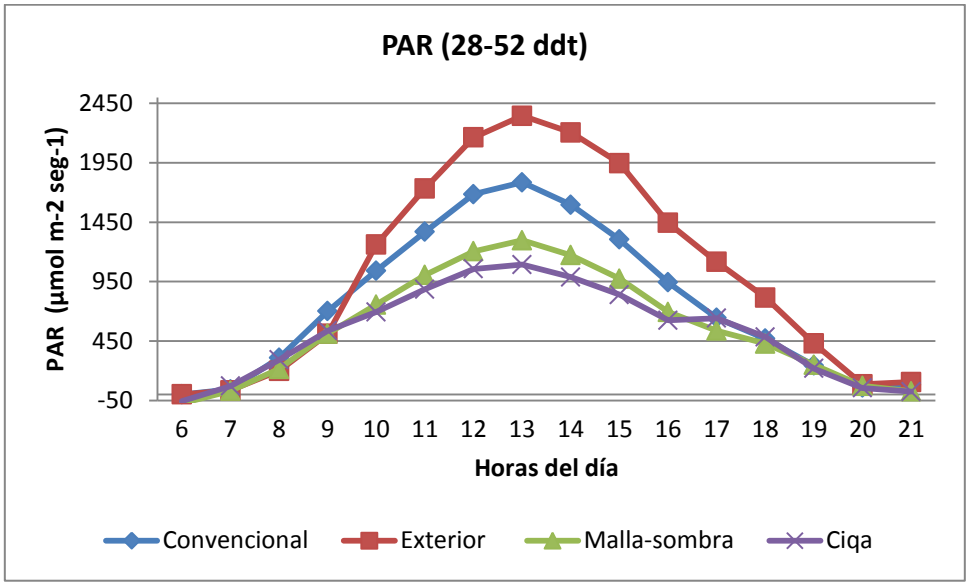

Figura 4.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (PAR µmol m-2 seg-1)

A partir de las 10 de la mañana, es cuando esta tendencia cambia de tal manera que el exterior y el invernadero de Convencional son los que presentan mayor radiación PAR, 1262 y 1041 µmol m-2 seg-1, respectivamente. En el tratamiento de CIQA presentó 694 µmol m-2 seg-1, y el de malla sombra fue de 756 µmol m-2 seg-1. A las trece horas es cuando se presenta mayor radiación incidente en todos los tratamientos. Conforme va pasando las horas la radiación PAR va disminuyendo hasta las 21 horas, donde la radiación PAR es de menor incidencia. De todos los tratamientos el tratamiento CIQA es el que presentó menor incidencia de radiación PAR a todas las horas del día excepto a las 17 horas, ya que fue el tratamiento de Malla-sombra la que presentó menor incidencia de radiación PAR.

Para el segundo periodo (26 julio-20 agosto) la radiación PAR incidente a las siete horas es menor que el periodo anterior (Figura 4.2), debido a la época del año y la perpendicularidad de los rayos solares que provocan una mayor incidencia de radiación PAR. El comportamiento de la radiación al igual que el periodo anterior fue el de una campana de Gauss o curva de distribución normal. si se tienen una serie de valores aun cuando los valores más frecuentes son los cercanos a cero disminuyendo su frecuencia al alejarse de este punto hacia un lado o hacia otro, si se grafican las frecuencias o número de veces que ocurren los valores se tendría una gráfica simétrica respecto al origen en forma de campana (Chaverri 1985); De igual manera esta curva en forma de campana se presentó en la gráfica de radiación, donde la mayor incidencia fue a las 14 horas en el exterior con 2398 µmol m-2 seg-1, sin embargo en los demás tratamientos la mayor incidencia de radiación fue a las 13 horas, en donde Convencional 1665 µmol m-2 seg-1, Malla-sombra 1002 µmol m-2 seg-1, y CIQA 1019 µmol m-2 seg-1. Teniendo de esta manera una disminución de la radiación en el tratamiento de CIQA un 58 %, 59 % en Malla-sombra, y 30 % en Convencional, con respecto a la radiación del exterior.

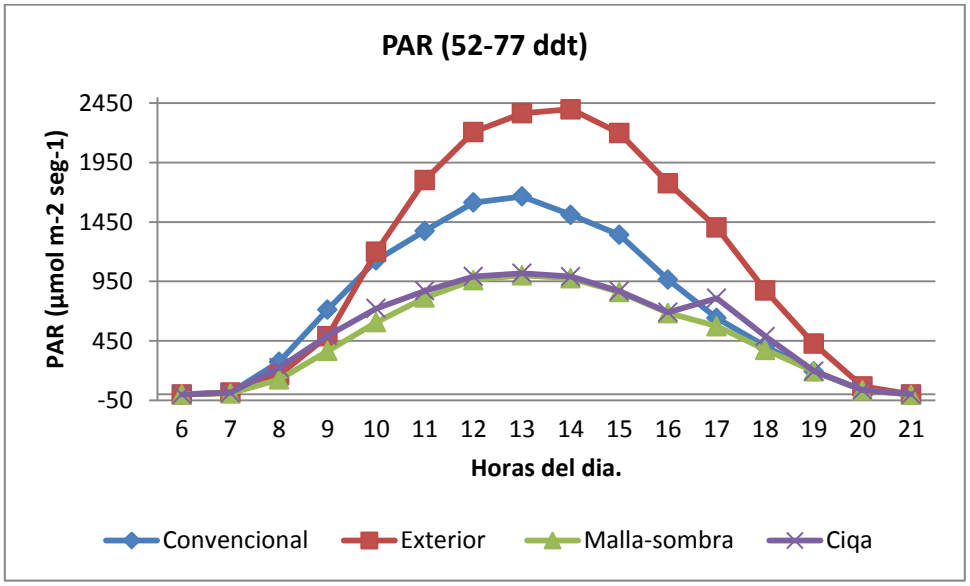

Figura 4.2 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (PAR µmol m-2 seg-1)

La diferencia entre la radiación PAR en las horas del día con mayor radiación, se debe a que el primer periodo se midió casi todos los días de julio, y el segundo periodo se midió

los días finales de Julio y mediados de Agosto, dado que en mes de Julio fue el que presentó mayor incidencia de radiación que el mes de Agosto. Esta tendencia de disminución de radiación PAR en las horas con mayor radiación se presentó en el tercer periodo (figura 4.3), esta tendencia de disminución de radiación PAR conforme trascurre el tiempo, pudo deberse al envejecimiento de las películas utilizadas, además del ángulo de incidencia de la radiación solar global, tanto como la película CIQA y la de Convencional, las cuales pierden sus propiedades de transmisión de radiación PAR. Las películas de CIQA, Malla-sombra y Convencional, pierden el 60 %, 59 %, y 40 % respectivamente de radiación con respecto a la radiación Exterior, el porcentaje de radiación que se pierde es mayor con respecto al periodo anterior.

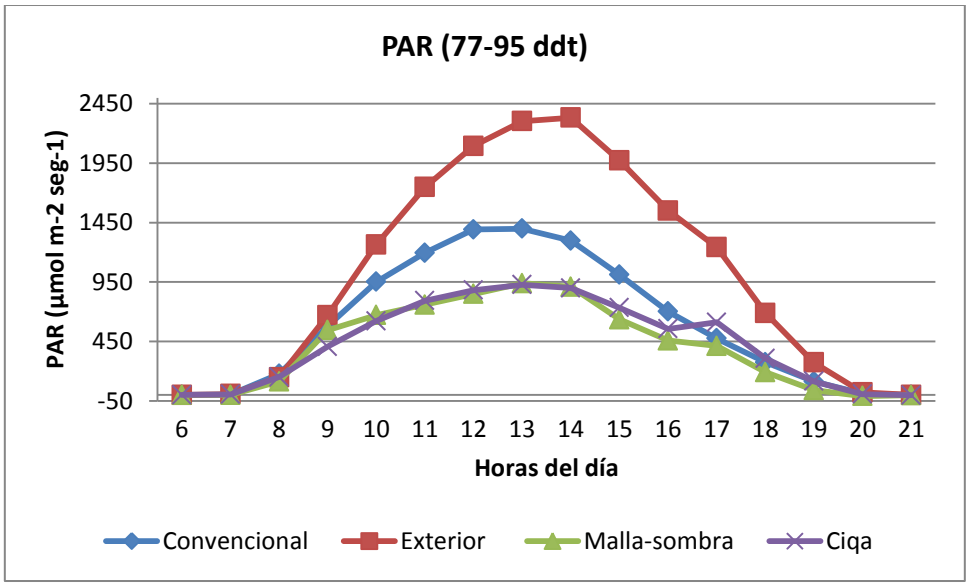

Figura 4.3 Radiación fotosintéticamente activa (PAR), en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (PAR µmol m-2 seg-1)

En el tercer periodo al igual que los anteriores, la hora en donde se encontró una mayor incidencia de radiación PAR fue a las 13 horas teniendo en el tratamiento de CIQA 926 µmol m-2 seg-1, en el de Malla sombra 939 µmol m-2 seg-1, Convencional 1398 µmol m-2 seg-1 y exterior 2302 µmol m-2 seg-1, teniendo una mayor incidencia de radiación PAR en el tratamiento Convencional, además de que los meses de septiembre y Agosto presentaron menor radiación PAR que el mes de Agosto.

4.2 Temperatura.

La temperatura de los tratamientos presentó un comportamiento similar en relación con la temperatura del exterior, dichas temperaturas fueron registradas por sensores tipo HOBO (figura 3.14), el cual registro las temperaturas diarias de 6 a 21 horas, estas temperaturas diarias fueron tomadas diariamente y divididas en tres periodos para una mayor manipulación de los datos.

En el primer periodo (28-52 ddt) se puede observar que en las primeras horas 6 y 7 horas los tres tratamientos junto con el exterior presentaron un temperatura inferior a los 20 ° C, sin embargo esta temperatura fue incrementándose hasta presentar la temperatura máxima a las 15 horas, que fue de 34 ° C en el exterior, 31° C en la cubierta CIQA, 32 °C en el tratamiento Convencional, y 29 °C en la cubierta Malla sombra, esto nos indica que el tratamiento Malla sombra presenta una mayor reducción de la temperatura en cuanto a la temperatura exterior; esto debido a que en la malla sombra existe una mayor ventilación comparada con las demás cubiertas de invernadero. A las 20 y 21 horas las temperaturas de los tratamientos tuvieron un comportamiento similar con la temperatura exterior, esto debido a la reducción de la temperatura exterior conforme va trascurriendo la noche.

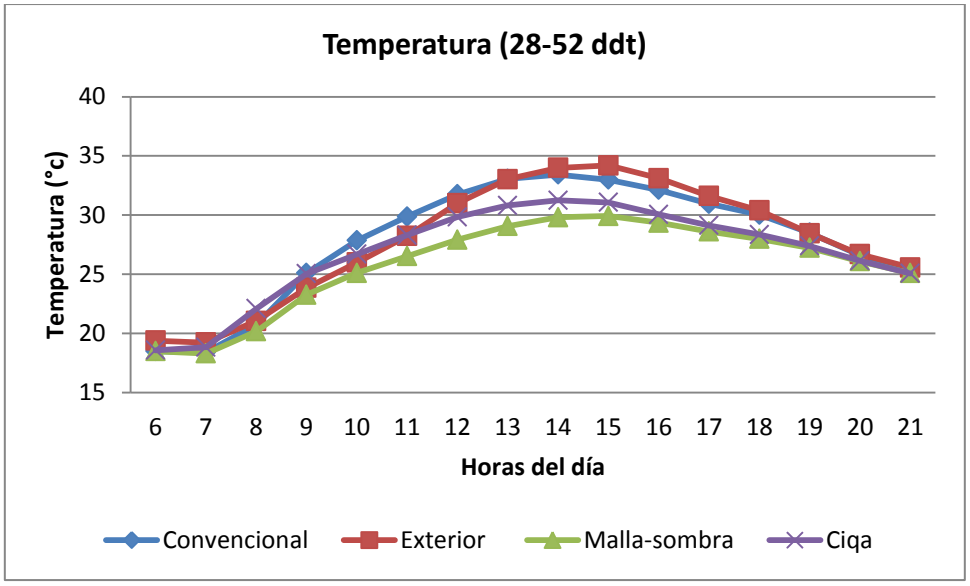

Figura 4.4 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (°C)

Sin embargo en la figura se observa que la temperatura exterior tuvo un descenso mayor en la temperatura con respecto a las cubiertas, debido a que las temperaturas en el dia son demasiado altas y bajan considerablemente por la noche. De las cubiertas, el tratamiento Malla sombra presentó una temperatura más constante, porque presentó menor reducción de temperatura comparada con la exterior.

En el segundo periodo (52-77 ddt) (figura 4.5), hubo un aumento de la temperatura en relación con el periodo anterior en todos los tratamientos incluyendo la temperatura exterior, se puede observar a las 15 horas que es cuando hay una mayor temperatura, existió un aumento de 4 ° C en la temperatura exterior en relación con el primer periodo, a diferencia de los tratamientos CIQA, Convencional, Malla sombra, que presentaron un aumento de 2° C respectivamente. Esto nos indica que conforme pasa la temporada más caliente, las cubiertas tienen la capacidad de aumentar en menor cantidad la temperatura interior, sin embargo sigue existiendo una menor temperatura en la cubierta Malla sombra, debido a una mayor ventilación existente en esta cubierta, a diferencia de las demás cubiertas, siendo la cubierta Convencional la que presenta mayores temperaturas.

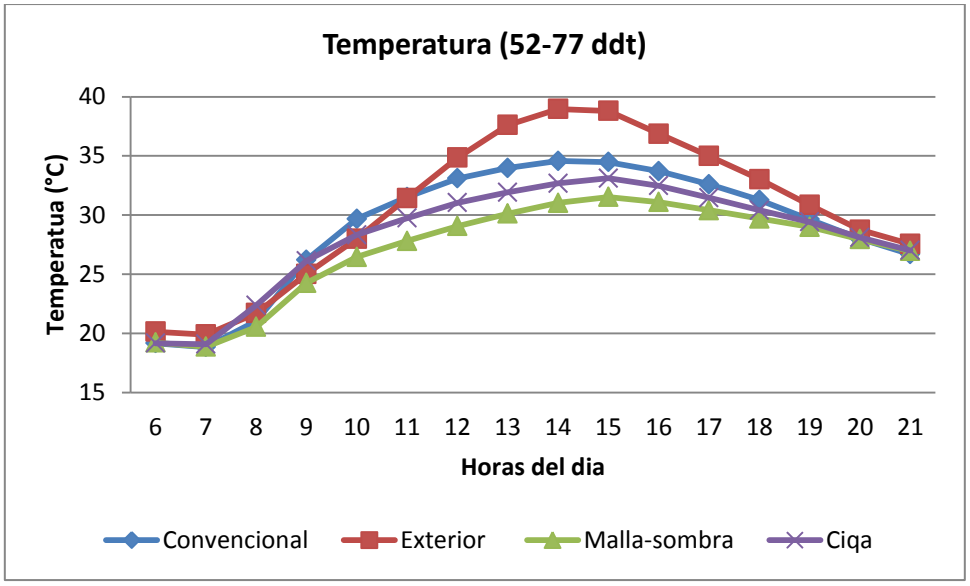

Figura 4.5 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (°C)

En el tercer periodo (77-95 ddt), podemos observar que existe una mayor temperatura en el tratamiento Convencional (figura 4.6) teniendo a las 15 horas (hora más caliente del día) 32 ° C, seguido del tratamiento CIQA con 31 °C, y 29 ° C del tratamiento Malla sombra, estas temperaturas fueron similares que el primer periodo, y este comportamiento de las temperaturas, es de suma importancia para saber si existe una relación directa con el comportamiento de la planta. En este tercer periodo en la noche 21 horas hay una reducción de la temperatura en la cubierta CIQA de 21.% con respecto a la máxima, 25 % en la cubierta Convencional y 16 % en la cubierta malla sombra. lo que nos indica que por la noche existe una mayor pérdida de temperatura en el tratamiento Convencional.

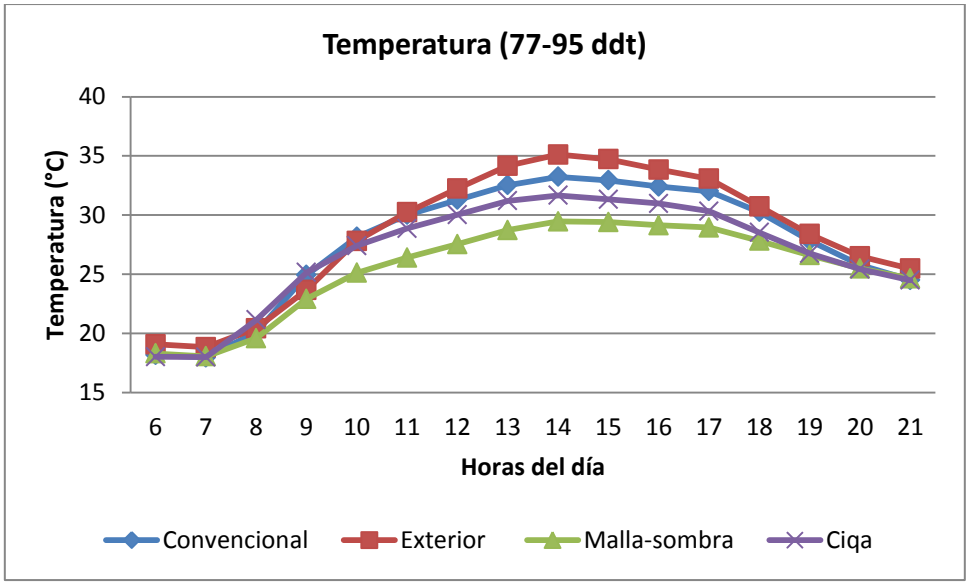

Figura 4.6 Temperatura en el exterior e interior de los invernaderos. Variable independiente (horas del día). Variable dependiente (°C)

4.3 Tasa de Crecimiento Relativo Total

Los análisis de varianza y comparación de medias de TCR total solo arrojan diferencias significativas entre los tratamientos en el tercer período de muestreo (Cuadro 4.1), sin embargo se puede observar que numéricamente, en el período más activos de crecimiento vegetativo (28 a 52 días después de trasplante (ddt)) las plantas que estaban en el invernadero con Malla Sombra tuvieron mayor acumulación de biomasa que las plantas que estaban en los invernaderos cubiertos con las películas plásticas, los cuales tuvieron similar producción de biomasa. En el segundo período de evaluación (52 a 77 ddt) la TCR bajó considerablemente en todos los tratamientos, incluso más en las plantas de la Malla Sombra, esto se atribuye en mayor medida a que las plantas ya estaban en plena producción y cosecha de frutos por lo cual se considera que la mayor parte de los fotosintatos se estaban enviando a los frutos, frenando así la producción de biomasa de las otras partes de la planta. En el tercer período de evaluación (77 a 95 ddt) la TCR estaba ya muy baja en las plantas del invernadero con película CIQA y en la Malla Sombra, pero en el invernadero con cubierta Convencional se mantuvo alta. Las TCR bajas en el invernadero CIQA y Malla Sombra en el último período, se deben a que las plantas en este invernadero estaban

en plena producción de frutos y ya estaban enviando todos los fotosintatos a los frutos y no nuevo crecimiento vegetativo, en cambio en el invernadero con cubierta Convencional, como ya habían bajado las temperaturas (Fig. 4.6) las plantas empezaron a tener un crecimiento vegetativo bueno, manteniendo la TCR mayor que los demás tratamientos. En el caso de las plantas de la malla sombra se enfermaron por causa del período de lluvias que se presentó y la lluvia entraba al follaje de las plantas causando enfermedad de tizones principalmente y afectando al follaje y posterior defoliación de ahí también las TCR bajas, A pesar de que la media general de TCR fue mayor en las plantas del invernadero con cubierta Convencional y Malla Sombra que en el de las plantas con cubierta CIQA, esto no se reflejó en mayor número de frutos y rendimientos (Figura 4.16 y 4.18)

Cuadro 4.1. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo total en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	TCR total (mg. g. día-^{1})	Peso seco (g)	TCR total (mg.g. día $^{-1}$)	Peso seco (g)	TCR total (mg. g. día-^{1})	Peso seco (g)
	28-52*	52*	52-77 *	77*	77-95*	95*
CIQA	38.2 a	145.57	16.2 a	221.59	3.1 a	206.6
Convencional	36.7 a	85.43	21.1 a	141.89	18.6 a	217.5
Malla sombra	53.3 a	134.22	18.1 a	205.07	0.3 a	159.4

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

4.4 Tasa de Crecimiento Relativo de Tallo.

Los análisis de varianza y comparación de medias de TCR de tallo no muestran diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los períodos evaluados (Cuadro 4.2). La TCR de tallo en los diferentes períodos evaluados muestra que en los invernaderos cubiertos con las películas plásticas CIQA y Convencional fue igual, pero considerablemente más bajas que en el invernadero con Malla Sombra, esto significa un crecimiento más vigoroso en el tallo de las plantas bajo la Malla Sombra, tal vez por el mayor sombreo que hay, pero con muy poca difusión de luz, lo que causa este mayor crecimiento o acumulación de biomasa de tallo. Aunque no hay significancia estadística entre los tratamientos, las diferencias en los valores de TCR de tallo muestran diferencias numéricas considerables y probablemente no hay significancia por que los coeficientes de variación o la desviación estándar es alta, generalmente la desviación es alta en este tipo de variables. Se muestra nuevamente que las plantas del invernadero con cubierta Convencional tuvieron un crecimiento desfasado con respecto a las plantas de los otros dos invernaderos, y esto se debió principalmente al microclima del invernadero, estresante al inicio y más modulado en el tercer período de muestreos.

Cuadro 4.2. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de tallo en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	TCR tallo (mg. g. día $^{-1}$)		
	28-52 *	52-77*	77-95*
CIQA	38.1 a	16.8 a	13.1 a
Convencional	38.4 a	18.0 a	28.6 a
Malla-sombra	55.1 a	5.4 a	9.9 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante

4.5 Tasa de crecimiento relativo hoja

Los análisis de varianza y comparación de medias de TCR de hojas muestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos en el primer período de evaluación, pero no en el segundo y tercer (Cuadro 4.3). En el primer período es cuando se ven las mayores TCR (28-52 ddt) y baja considerablemente en los siguientes períodos (52-77 y 77-95ddt), que coinciden ya con la cosecha, indicando estos resultados que la mayor parte de los fotosintatos estaban enviándose al crecimiento de los frutos y ya poco a la formación de hojas. En las plantas del invernadero con cubierta CIQA y con cubierta Convencional, aunque la TCR bajó después del primer período de evaluación siempre se mantuvo positiva, en cambio en las plantas del invernadero con Malla Sombra las TCR de hojas fueron negativas en el segundo período de evaluación y muy baja en el tercero, esto quiere decir que hubo pérdida de biomasa en lugar de ganancia o que no había homogeneidad en las plantas pudiéndose tomar plantas más pequeñas o con menos hojas en el segundo muestreo con respecto al primer muestreo del período. De acuerdo al comportamiento del cultivo en cada invernadero, en el invernadero con cubierta Convencional las TCR fueron más bajas que en las plantas del invernadero CIQA, a excepción del segundo período , pero con un comportamiento muy normal de disminución a través del tiempo, la más baja TCR en las plantas del invernadero Convencional comparado con el de CIQA se puede atribuir a las altas radiaciones que se recibían en este invernadero (Fig. 4.1, Fig. 4.2), que causaban también altas temperaturas (Fig. 4.4, Fig. 4.5, Fig.4.6) que dificultaron el establecimiento de las plantas en este invernadero y poca uniformidad en las plantas. En el invernadero con Malla Sombra las plantas se enfermaron por causa del período de lluvias que se presentó y la lluvia entraba al follaje de las plantas causando enfermedad de tizones principalmente y afectando al follaje y posterior defoliación. Como las hojas son muy importantes porque son las productoras de los fotosintatos, entre más gramos de hojas se tengan mayor cantidad de gramos de hojas se producen, se puede decir que la mayor TCR de hojas por planta en las plantas del invernadero CIQA tuvo influencia en la mayor productividad de frutos (mayor rendimiento) (Fig.4.16 y Fig. 4.17), con respecto a los otros dos invernaderos que tuvieron menores o negativas TCR de hojas.

Cuadro 4.3. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de hojas en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	TCR hoja (mg. g. día^{-1})		
	28-52*	52-77*	77-95*
CIQA	16.4 ab	1.8 a	9.3 a
Convencional	11.5 b	6.6 a	5.5 a
Malla-sombra	34.6 a	-3.9 a	3.0 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

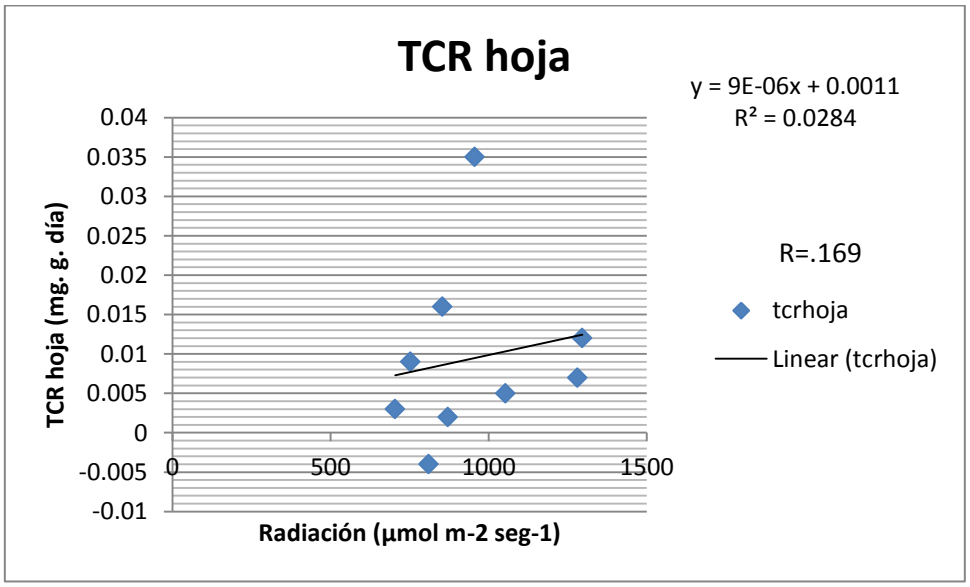

Figura 4.7 Correlación entre la radiación y la TCR hoja, R menor a .6 indica que no existe una correlación.

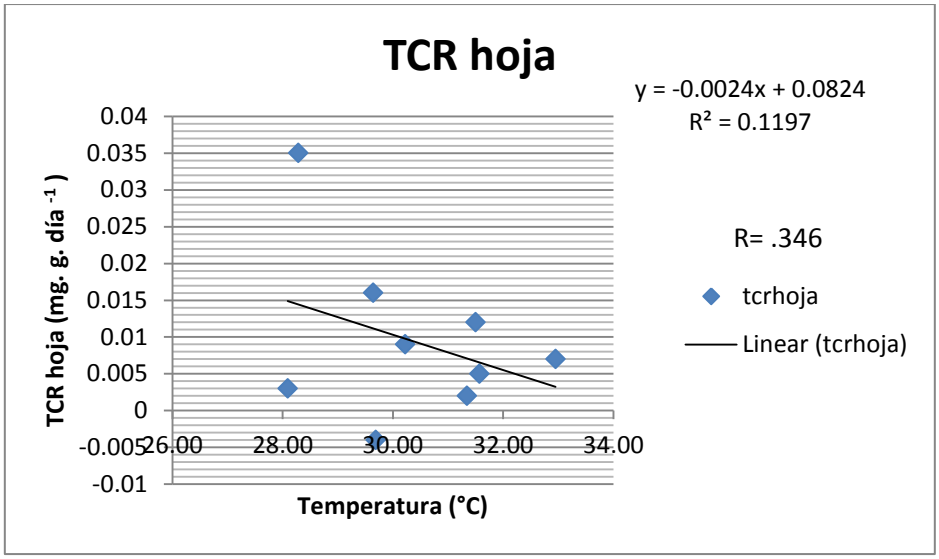

Figura 4.8 Correlación entre la temperatura y la TCR hoja, R menor a .6 indica que no existe una correlación.

Casierra ***et al*** 2007, realizó un estudio en Colombia sobre la tasa de crecimiento relativo en tomate bajo condiciones de invernadero, encontrando que la tasa de crecimiento relativo (TCR), mostró un descenso drástico desde el inicio de la toma de datos, hasta el intervalo 15-22 después de la floración (ddt), luego continuó descendiendo paulatinamente hasta el momento de la cosecha. Estos resultados son similares a los resultados mostrados en donde la tasa de crecimiento relativo desciende, conforme aumenta los días después del trasplante.

4.6 Tasa de crecimiento relativo fruto

Los análisis de varianza y comparación de medias de TCR de fruto (Cuadro 4.4) indican que no hubo significancia estadística entre los tratamientos en ninguno de los períodos de evaluación. En el primero y segundo período de evaluación (28-52 y 52-77 ddt) la mayor TCR fruto la tuvieron las plantas del invernadero Convencional, seguido por las de la Malla Sombra y la menor en las plantas del invernadero CIQA. En el Tercer período las TCR de fruto fueron negativas en los invernaderos cubiertos con la película CIQA y con la Malla Sombra, es decir la producción de frutos fue disminuyendo considerablemente con

respecto al período anterior, en el invernadero con cubierta Convencional la TCR de fruto disminuyó pero se mantuvo aún positiva, lo que muestra nuevamente el desfasamiento en el desarrollo del cultivo en este invernadero el cual se retrasó por efectos del microclima. Aunque las TCR de frutos por unidad (mg.g.día) fueron mayores en las plantas del invernadero Convencional y Malla Sombra, no significa que la TCR de fruto por planta fue también mayor que en las plantas del Invernadero con Cubierta CIQA, ya que al tener mayor peso de fruto total en las plantas del invernadero CIQA (Fig. 4.17) la producción real de fruto por planta fue mayor que en las plantas del invernadero Convencional y que en la Malla Sombra lo que da como resultado mayor rendimiento de fruto al final en este invernadero CIQA.

Cuadro4.4. Comparación de medias de tasa de crecimiento relativo de fruto en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	TCR fruto (mg. g^{-1}. día $^{-1}$)		
Tratamiento	28-52 *	52-77 *	77-95 *
CIQA	58.2 a	22.2 a	-28.2 a
Convencional	83.2 a	35.8 a	13.4 a
Malla-sombra	73.2 a	44.4 a	-36.1 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

Las especies competitivas están adaptadas a conseguir tasas altas de crecimiento (TCR), pero a costa de una baja tolerancia al estrés; por el contrario, las especies tolerantes al estrés tienen bajas tasas inherentes de crecimiento (incluso en condiciones favorables) pero una capacidad elevada de soportar el estrés (Coley 1988).

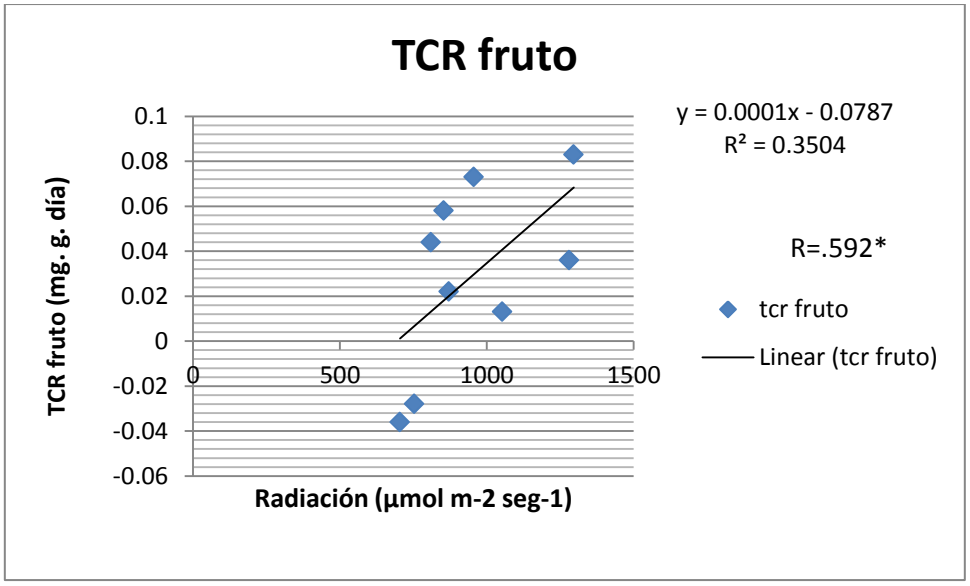

Figura 4.9 Correlación entre Radiación y TCR fruto, R menor de .6 indica que no existe una correlación

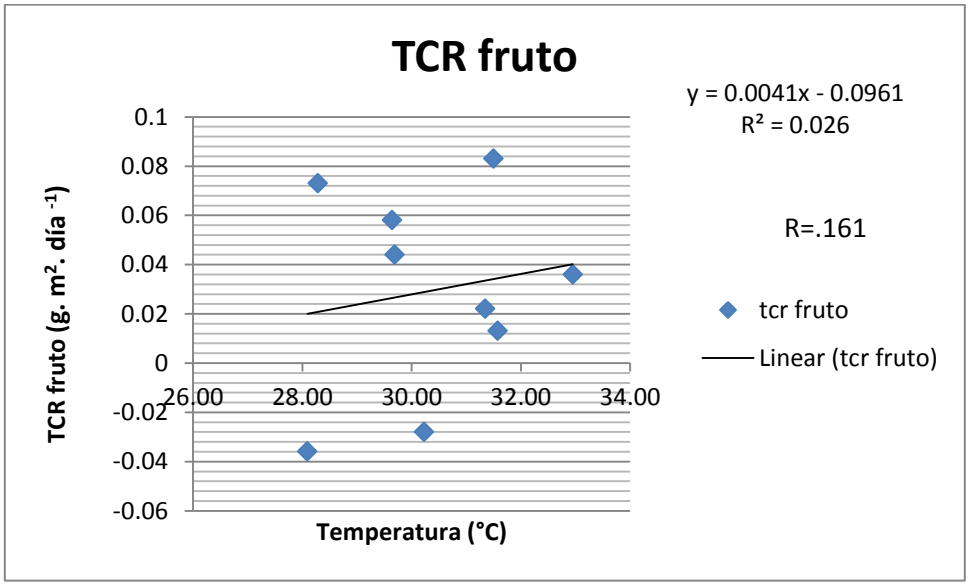

Figura 4.10 Correlación entre Temperatura entre y TCR fruto, R menor de .6 indica que no existe una correlación

A mayor radiación existe una mayor tasa de crecimiento de fruto (figura 4.9) es debido a que aumenta el aparato fotosintético y por lo tanto el crecimiento de los frutos es mayor, sin embargo a Las radiaciones también influyeron en el aumento de la temperatura interior de los invernaderos provocando una inexistente correlación entre la temperatura y la TCR de fruto (figura 4.10), debido a que las altas temperaturas en el tratamiento Convencional provocaron un detenimiento en el crecimiento en el aparato fotosintético de las plantas, después de que las temperaturas se redujeron, este crecimiento desfasado provocó un poco uniformidad en las plantas, teniendo pocos resultados significativos en las correlaciones realizadas.

4.7 Tasa de asimilación neta

En tasa de asimilación neta unitaria (TAN) no se observan diferencias significativas entre los tratamientos en el primero y segundo período de evaluación, pero si en el tercero (Cuadro 4.5). El comportamiento de la TAN en el invernadero con cubierta CIQA y en la Malla Sombra es muy similar, desde los 28 días hasta los 95 días después de trasplante tiene una caída gradual hasta casi ser nula, lo que indica una casi total translocación de fotosintatos hacia los frutos a partir de los 95 días y hasta los 143 días que terminó la cosecha, mientras que en las plantas del invernadero Convencional la TAN se mantuvo constante hasta los 77 días y posteriormente subió, lo que indica que las plantas retomaron su crecimiento vegetativo o salieron de un período de estrés, en este caso si coincide con la salida de un período de estrés, ya que las plantas en el invernadero Convencional por las condiciones microclimáticas más adversas a las que estuvieron sometidas lo que se puede observar en las figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6. tenían un desarrollo vegetativo más limitado, También las TAN unitaria muestran el desfasamiento en el desarrollo vegetativo y producción que se tenían en las plantas en el invernadero con cubierta convencional con respecto a los otros dos, debido principalmente al microclima que se tenía en cada uno. Cuando se observa la TAN por planta, es decir la producción neta de biomasa considerando toda su área foliar se puede observar claramente como en el invernadero con cubierta CIQA y en la Malla Sombra, la TAN es considerablemente mayor con respecto a las plantas del

invernadero con cubierta Convencional hasta los 77 días, que coincide con la plena producción de fruto, mientras en el invernadero comercial el crecimiento vegetativo más activo es entre los 77 y 95 días y la producción de fruto se retrasa en comparación con el invernadero CIQA y Malla Sombra. Generalmente las plantas sometidas a mas estrés ambiental responden con retraso en el desarrollo hasta que las condiciones se mejoran, pero ya se ve afectada su productividad como se pudo observar en este trabajo, donde hubo menor rendimiento y calidad de frutos en el invernadero con cubierta Convencional con respecto al invernadero con la cubierta CIQA que tiene características refrescantes y difusa que la Convencional. Ya se había mencionado anteriormente que aunque las tasas de crecimiento como la TAN fueron similares en las plantas del invernadero CIQA y Malla Sombra, los rendimientos en la Malla Sombra fueron menores debido a la decadencia prematura de las plantas por enfermedades del follaje a causa del menor control sobre las lluvias y HR que se tiene en la Malla con respecto a los invernaderos con plástico, que causó que las cosechas terminaran cuatro cortes antes que en los invernaderos con plástico.

Se realizaron las correlaciones de la TAN con la radiación, (Fig. 4.11), encontrándose significancia en las correlaciones, superior al 95%. Esta significancia nos revela que a una mayor Radiación existe una mayor TAN, hasta llegar los niveles de saturación (1200 µmol m-2 seg-1) a radiaciones superiores ocasionan que la planta sufra estrés, provocando una fotorespiración y consumo de energía, disminuyendo la TAN.

Según Howard 2010 se necesita entre 800 y 1200 µmol m-2 seg-1 para una adecuada actividad fotosintética y un óptimo crecimiento y rendimiento, ya que una par superior a los 1200 µmol m-2 seg-1 da lugar a foto respiración.

En un estudio realizado por Bruggink ***et al***. 1987 encontró, en las plantas de tomate que la TAN en plantas de tomate reaccionaron más fuertemente a los cambios en la intensidad de luz, en comparación con otras especies como el pimiento, o sea que existió una mayor eficiencia en el uso de la luz, encontrando que existe una correlación positiva entre el aumento de la PAR con la tasa de asimilación neta.

Cuadro 4.5. Comparación de medias de tasa de asimilación neta en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	Tasa de Asimilación Neta (g. m^2. día $^{-1}$)			**Área foliar final*planta (cm^2)**	**Tasa de Asimilación Neta (g. planta. día $^{-1}$)**		
Tratamiento	**28-52***	**52-77***	**77-95 ***		**28-52 ***	**52-77***	**77-95***
CIQA	13.1 a	8.6 a	1.6 b	3604.9	2.72 a	3.12 a	0.59 b
Convencional	13.4 a	13.3 a	16.8 a	1352.8	1.80 a	2.15 a	2.94 a
Malla-Sombra	16.7 a	8.8 a	0.17 b	1935.0	2.50 a	2.70 a	0.05 b

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

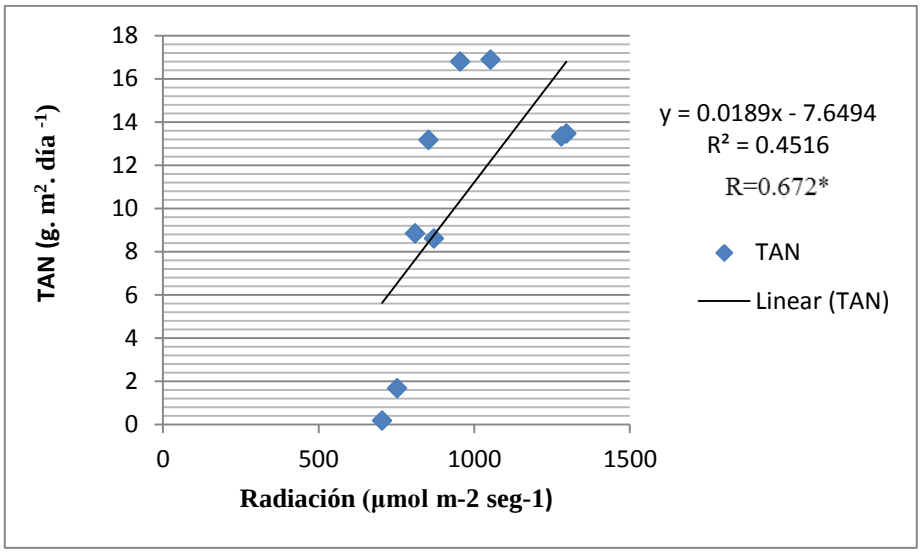

Figura 4.11 Correlación entre la Radiación y la Tasa de asimilación neta, * = a significancia superior al 95 %

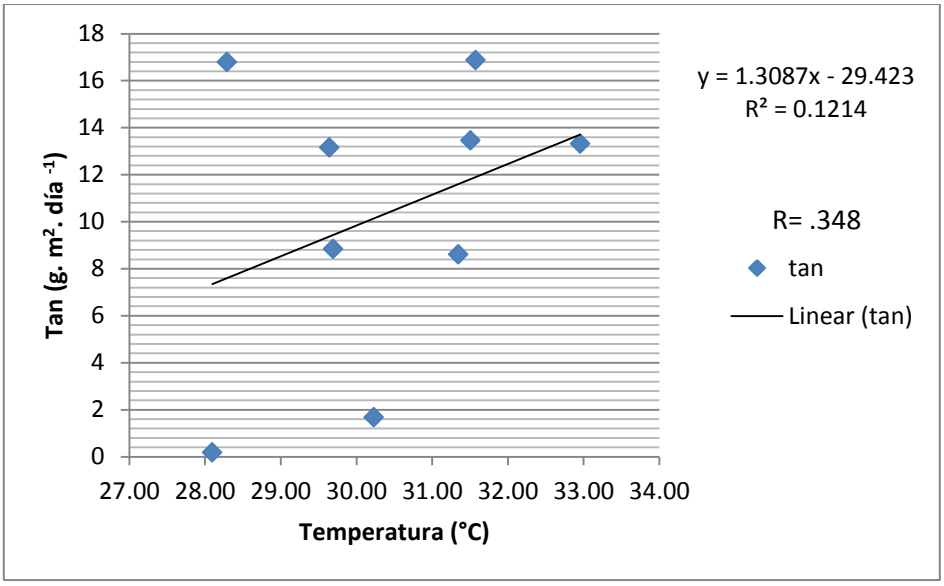

Figura 4.12 Correlación entre la Temperatura y la Tasa de asimilación neta, R menor de .6 indica que no existe correlación entre las variables.

La poca correlación existente ente la Temperatura, y la TAN (figura 4.12) se debe a que las altas temperaturas en el tratamiento convencional provocaron una desfasamiento en cuanto al crecimiento teniendo un poca uniformidad en los datos, y por lo tanto un poco correlación, en la que se explica que un aumento en la temperatura no influye en el aumento de la TAN, ni viceversa, esto porque el crecimiento de la planta está relacionado con los niveles de Radiación incidente dentro de la cubiertas.

4.8 Razón de Peso Foliar (RPF)

Con respecto a la razón de peso foliar, los resultados de los análisis y comparación de medias (Cuadro 4.6) muestran que hay diferencias significativas entre los tratamientos solo para el primer período de evaluación, en el segundo período aunque hay diferencia numérica a favor de las plantas del invernadero Convencional y Malla sombra, estadísticamente son iguales todos y ya para el tercer período la RPF todos los tratamientos tienen igual valor de RPF. Esto indica que al inicio las plantas del invernadero CIQA en proporción tienen menor peso de hojas que de tallos, con respecto a las plantas del invernadero Convencional y Malla Sombra y puede ser por dos razones: una, que las hojas

son más delgadas lo que es normal ya que la cantidad de radiación PAR en este invernadero fue menor y dos, que los tallos en estas plantas fue más potente y por lo tanto en proporción tenía mayor biomasa de tallo con respecto de hojas, lo que también se observó.

En cambio las plantas del invernadero Convencional y Malla Sombra las hojas eran más pequeñas, sobre todo en el invernadero Convencional y más gruesas y por lo tanto en proporción de peso con respecto a tallo fue mayor. Al final cuando las condiciones ambientales se mejoraron para el invernadero Convencional y la radiación bajó, la RPF en todos los invernaderos fue igual. La RPF en cierta forma indica la potencia del aparato fotosintético que es el encargado de la generación de los fotosintatos que son distribuidos a las diferentes partes de la planta, aunque en ocasiones la RPF no coincide con la razón de área foliar (RAF), porque aunque se tenga más peso foliar el área fotosintética puede ser menor que donde se tiene menor peso foliar. Esto se verificará cuando se vea el área foliar específica.

Cuadro 4.6 Comparación de medias de razón de peso foliar en plantas de tomate cherry tipo uva, bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	Razón de Peso Foliar (g. g^{-1})		
	28-52 *	52-77 *	77-95 *
CIQA	0.24 b	0.15 a	0.13a
Convencional	0.29 a	0.17 a	0.13 a
Malla-sombra	0.28 ab	0.17 a	0.13 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

4.9 Razón de área foliar

La razón de área foliar (RAF) indica los centímetros cuadrados de hoja que se tienen por cada gramos de biomasa de la planta, con respecto a este índice de crecimiento, los análisis de varianza y comparación de medias (Cuadro 4.7) muestran que existe diferencia significativa para el segundo y tercer período de evaluación, pero no para el primero, estos resultados indican en el primer período de evaluación que en las plantas de la malla sombra aunque no hay diferencia estadística con respecto a los otros, hubo más área foliar por cada gramo de biomasa de plantas que en las plantas del invernadero Convencional y CIQA, los cuales tenían la misma cantidad de superficie de área foliar por cada gramo de biomasa, aunque ya se había visto en la RPF que por cada gramo de biomasa se tenían más gramos de hojas en las plantas del invernadero Convencional con respecto al de CIQA, esto demuestra que las hojas en las plantas del invernadero CIQA son más expandidas que las del invernadero Convencional aunque tengan el mismo peso, y esto si puede generar mayor producción de fotosintatos en las plantas del invernadero CIQA que en las del Convencional.

En el segundo y tercer período de evaluación, significativamente se tenían más centímetros cuadrados de hoja por cada gramo de biomasa en las plantas del invernadero CIQA y Malla Sombra con respecto a las plantas del invernadero Convencional, lo que demuestra que las hojas en las plantas en este invernadero eran más pequeñas pero más gruesas y esto es debido a la mayor cantidad de radiación PAR (Fig. 4.1, 4.2, y 4.3) que se recibía y la mayor temperatura (Fig. 4.4, 4.5 y 4.6) que había.

En un estudio realizado por Tedeschi **et al.** 2011 en el sur de Italia bajo el crecimiento de Tomate encontró que existe una correlación entre la Razón de área foliar (RAF) y la Tasa de crecimiento relativo (TCR), y que si disminuye la biomasa producida, puede ser causada por la disminución de la evapotranspiración. Este mismo comportamiento en la RAF, con la TCR, fue similar en esta investigación.

Cuadro 4.7. Comparación de medias de razón de área foliar en plantas de tomate cherry tipo uva, bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	Razón de Área Foliar($cm^2 . g^{-1}$)		
	28-52 *	52-77 *	77-95 *
CIQA	30.9 a	20.3 ab	16.4 a
Convencional	30.3 a	16.2b	11.1 b
Malla-sombra	34.0 a	20.8 a	15.4 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante

4.10 Área foliar específica

Con respecto al Área Foliar Específica (AFE) en el Cuadro (4.8) se pueden observar las medias de los tratamientos, mostrando que existe diferencia significativa entre ellos en los tres períodos de evaluación. El AFE es estadísticamente igual en las plantas del invernadero CIQA y Malla Sombra y mayor que en las plantas del invernadero Convencional en los tres períodos, esto indica que las hojas en las plantas de los invernaderos dónde se recibía menor cantidad de radiación fotosintética eran por mucho más grandes que en las plantas del invernadero comercial, pero al mismo tiempo eran más delgadas. Esta respuesta en las plantas siempre se atribuye a ambientes de menor radiación que coincide con la menor radiación que se recibía en estos dos invernaderos (Fig. 4.1, 4.2 y 4.3). En cambio cuando se tienen ambientes de alta radiación y temperatura las hojas en las plantas suelen ser más pequeñas y gruesas como paso en las plantas del invernadero Convencional.

Cuadro 4.8. Comparación de medias de Área Foliar Específica en plantas de tomate cherry tipo uva, bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	Área Foliar Específica ($cm^2.g^{-1}$)		
	28-52*	52-77*	77-95*
CIQA	124.4 a	128.7 a	119.3 a
Convencional	101.8 b	90.1 b	84.8 b
Malla-sombra	121.0 a	119.7 a	117.3 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

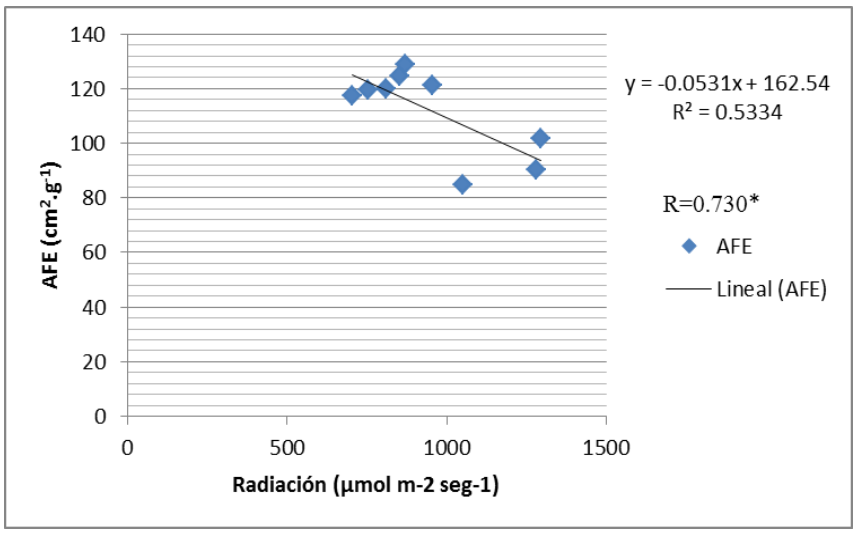

Figura 4.13 correlación entre la Radiación y Área foliar específica, * = significancia superior al 95 %.

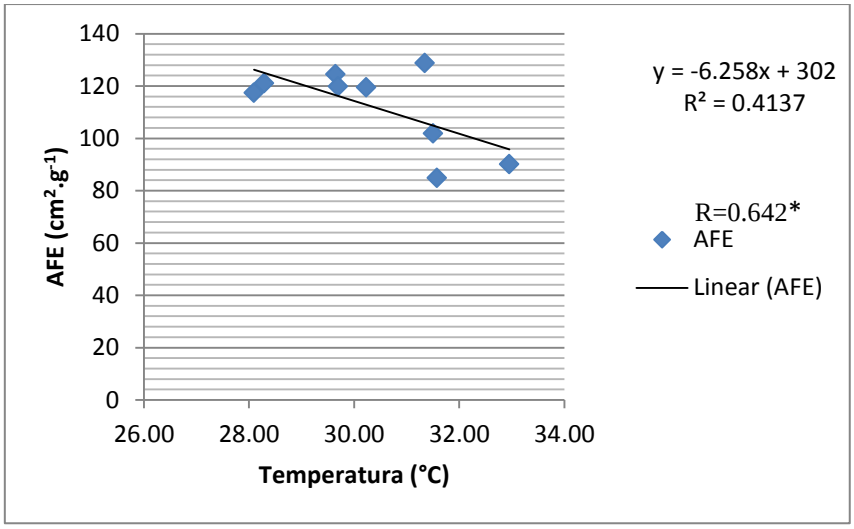

Figura 4.14 correlación entre la Temperatura y el Área foliar específica, * = significancia superior al 95 %.

Las correlaciones entre el AFE y la PAR (figura 4.13) tuvieron una relación inversa de tal manera que a mayores niveles de PAR existió una menor AFE, diciéndonos que la mayor PAR, provoca una reducción en el tamaño de la hoja, lo cual se vio reflejado en los tratamientos, de igual manera como se observa en la figura 4.14 menores temperaturas provocan una mayor Área foliar específica, sustentando los resultados mostrados en el cuadro 4.8, así los niveles de radiación que influyen directamente en el aumento de las temperaturas, también influyen en el grosor y tamaño de la hoja, la cual se verá reflejada en la productividad del cultivo.

4.11 Índice de eficiencia crecimiento del fruto

En el cuadro (4.9) se observan las comparaciones de medias de índice de eficiencia de crecimiento de fruto (IECF) por unidad de área foliar y por planta. El IECF por unidad representa la cantidad de biomasa de fruto producido por cada metro cuadrado de área foliar y se puede ver, que en el primero y segundo periodo de evaluación no existen diferencias significativas entre sí, pero si en el último periodo. Se observa que en las plantas del invernadero CIQA el índice de eficiencia fue mayor al inicio, indicando esto que la producción de fruto fue más precoz e inició antes la producción, con respecto a los

otros dos invernaderos, bajando gradualmente en el segundo período mientras en los otros dos invernaderos aumentó y bajando drásticamente en el último período, tanto en el invernadero CIQA como en la Malla Sombra, mientras que en el invernadero Convencional bajó, pero no tanto como en los otros dos invernaderos, mostrando nuevamente un desfase en el desarrollo de las plantas en este invernadero con respecto a los otros dos y atribuible a las condiciones ambientales que se generaron en cada invernadero.

Cuando se observan los resultados del IECF por planta se ve que los valores menores de eficiencia en la producción de fruto en los dos primero períodos de evaluación se presentan en las plantas del invernadero Convencional y solo al final cuando las plantas del invernadero CIQA y Malla Sombra ya están en plena decadencia la eficiencia de producción de fruto es mayor en las plantas del invernadero Convencional mostrándose claramente el retraso y desfasamiento en la producción de frutos.

Los valores negativos al final indican que el crecimiento fue nulo en relación al periodo anterior, y demuestra la etapa improductiva de la planta en donde ya la curva de crecimiento es decreciente y signo de envejecimiento y terminación del cultivo.

Cuadro 4.9. Comparación de medias de Índice de Crecimiento de Fruto (IECF) en plantas de tomate cherry tipo uva, bajo invernaderos con diferentes cubiertas plásticas y malla sombra.

	IECF (g. m^2. $día^{-1}$)				IECF (g. $planta^{-1}$. $día^{-1}$)		
	28-52 *	52-77 *	77-95 *		28-52*	52-77*	77-95*
CIQA	6.14 a	5.01 a	-6.15 b		1.31 a	1.85 ab	-2.11 b
Convencional	4.47 a	7.19 a	3.57 a		0.60 a	1.14 b	0.63 a
Malla-sombra	5.08 a	8.48 a	-9.00 b		0.77 a	3.10 a	-2.72 b

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

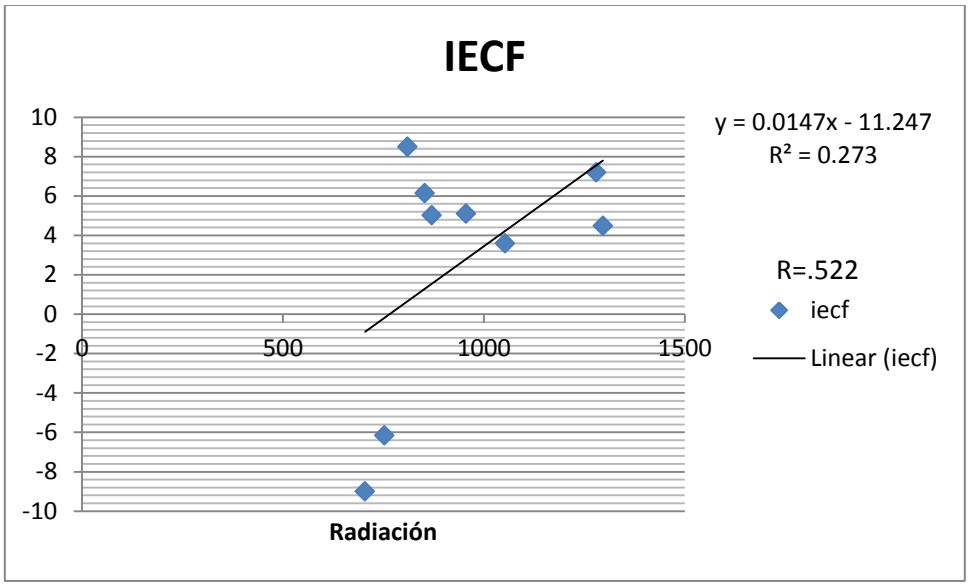

Figura 4.15 Correlación entre la Radiación y el índice de eficiencia de crecimiento del fruto, R menor de .6 indica que no existe correlación entre las variables

El aumento de la PAR influye considerablemente en la eficiencia del crecimiento de fruto, puesto que a niveles óptimos de PAR (800 y 1200 µmol m-2 seg-1) Se tiene el mayor IECF (figura 4.15), sin embargo a mayores niveles de radiación, el IECF disminuye esto causado por la alteración a nivel fisiológico de la planta realizando una gasto de energía innecesario para poder mantenerse y por lo tanto el crecimiento de los frutos pueden ser afectados como se muestra en el cuadro 4.9 en el que el tratamiento convencional presentó menor IECF, causado por la alta radiación en los primeros periodos.

4.12 Coeficiente de Partición de Biomasa

En el Cuadro 4.10 se presentan las medias de Coeficiente de partición de biomasa (CPB) en las plantas de los invernaderos cubiertos con las diferentes películas y Malla Sombra. Existen diferencias significativas entre los tratamientos en algunos períodos y para algunos de los componentes. Principalmente se puede ver que en el primer periodo (28-52 ddt) las plantas del invernadero CIQA y Malla Sombra envían menos fotosintatos hacia hojas y tallo que las del invernadero Convencional, pero envían más hacia frutos, lo que significa que hubo más precocidad en la formación de los frutos. Hasta los 90 días ddt se mantiene este comportamiento y ya después de los 90 días la partición de fotosintatos hacia frutos aumenta en las plantas del invernadero Convencional disminuyendo el envío hacia las hojas. Lo anterior confirma nuevamente en el desfasamiento del desarrollo y producción de las plantas del invernadero Convencional con respecto a las del invernadero CIQA y Malla Sombra.

En un estudio realizado por Vázquez en el 2005, sobre CPB, encontró resultados estadísticamente significativos, estos cambios provocaron variaciones en el rendimiento, encontrando que las plantas con mayor fruto fueron las plantas con un acolchado plástico blanco y plateado, encontrando que las plantas con menos fruto fueron las que estaban con el acolchado negro, esto debido a que las plantas con acolchado blanco plateado, tienen propiedades reflectivas de luz, al igual que la película de CIQA que tiene propiedades de difusas de luz permitiendo una mejor distribución de la luz dentro del invernadero y hacia las plantas, a diferencia de las plantas con acolchado negro que tienen propiedades de absorción, presentando una menor reflectividad y una peor distribución de la luz.

Cuadro 4.10 Comparación de medias de CPB en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra, en diferentes períodos de desarrollo del cultivo.

	28*			
Tratamiento	CPB tallo	CPB hoja	CPB fruto	CPB flor
CIQA	0.418 a	0.313 b	0.241 a	0.029 a
Convencional	0.491 a	0.387 a	0.099 b	0.023 a
Malla-Sombra	0.461 a	0.344 ab	0.165 ab	0.031 a
	52 *			
CIQA	0.416 a	0.185 a	0.377 a	0.022 b
Convencional	0.515 a	0.213 a	0.241 b	0.032 a
Malla-Sombra	0.484 a	0.220 a	0.275 ab	0.020 b
	77 *			
CIQA	0.422 ab	0.131 a	0.440 ab	0.007 b
Convencional	0.477 a	0.147 a	0.352 b	0.025 a
Malla-Sombra	0.355 b	0.129 a	0.514 a	0.003 b
	95 *			
CIQA	0.563 ab	0.157 a	0.279 a	0.002 a
Convencional	0.668 a	0.079 a	0.251 a	0.002 a
Malla-Sombra	0.554 b	0.104 a	0.349 a	0.002 a

Medias seguidas por literales diferentes son estadísticamente diferentes, *=días después de trasplante.

4.13 Componentes del Rendimiento

4.13.1 Rendimiento de fruto

El rendimiento de fruto del tomate cherry tipo uva, fue estadísticamente superior, en la película plástica formulada en CIQA, con respecto al plástico convencional y malla sombra en los primeros muestreos (Fig. 4.16). La película plástica CIQA se mostró superior en 6 muestreos con respecto a la película testigo. Con respecto a la malla sombra la película CIQA fue superior en tres muestreos y en los demás fue estadísticamente igual. Solo que para el caso de la malla sombra el cultivo se perdió a partir del octavo muestreo debido al ataque de enfermedades provocadas por las lluvias y excesos de humedad.

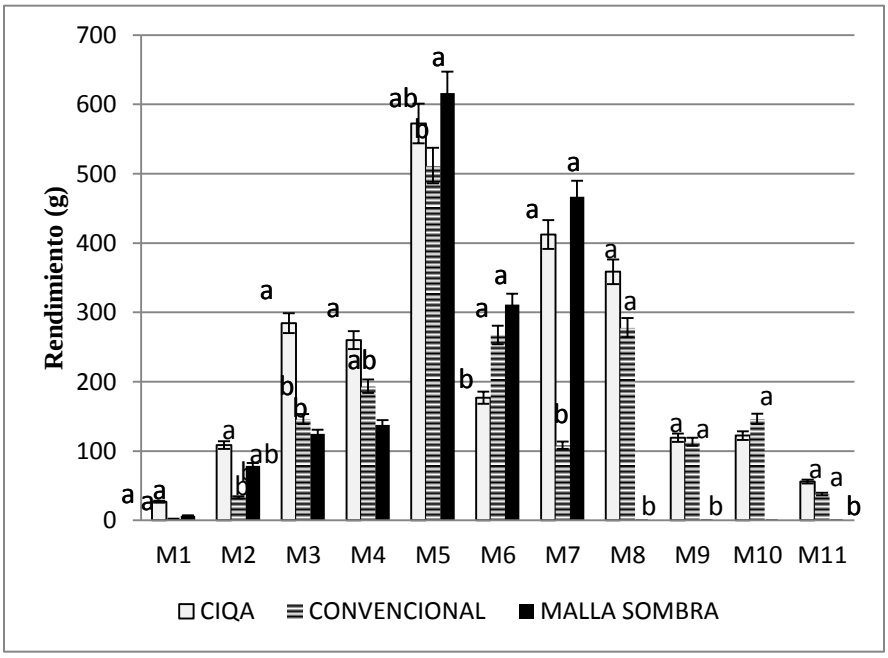

Figura 4.16 Rendimiento de frutos cosechados por muestreo en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra.

En lo que respecta al rendimiento total de fruto la película CIQA superó estadísticamente a la película comercial y a la malla sombra (Fig. 4.17). La película CIQA produjo alrededor de un 25% más de rendimiento total de tomate cherry tipo uva.

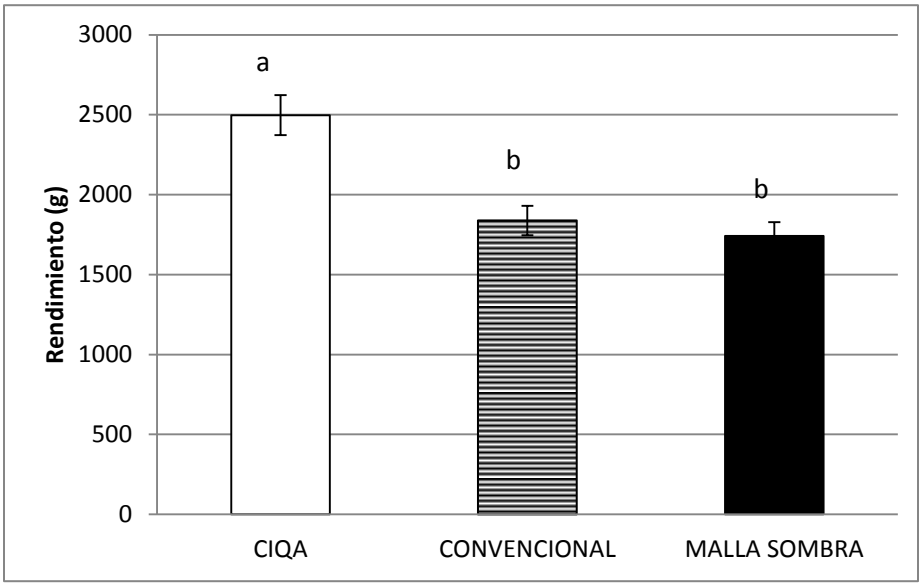

Figura 4.17 Rendimiento de frutos cosechados en total, en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra.

4.13.2 Número de Frutos

En lo que respecta al número de frutos, la respuesta es similar que para el caso del rendimiento en peso del fruto del tomate Cherry tipo uva. Es decir, la película plástica CIQA, fue estadísticamente superior, con respecto al plástico convencional y malla sombra en los primeros muestreos (Fig.4.18). La tendencia solo cambió en un muestreo al presentar un mayor número de frutos en solo 5 muestreos con respecto a la película testigo. Con respecto a la malla sombra la respuesta de la película CIQA en cuanto al número de frutos fue similar que el caso del rendimiento de fruto, sin embargo se realizaron menores muestreos en la película Malla sombra ya que la planta estaba en fase terminal y es por ello que se presentó menor número de frutos totales. Las radiaciones en CIQA y Malla sombra fueron similares en los dos últimos periodos, pero en el primer periodo el tratamiento CIQA presentó menor radiación teniendo una mayor precocidad en la producción, sin embargo en

los muestreos 5, 6 y 7 se tiene un mayor número de frutos en la película Malla sombra, debido a que estaba finalizando la etapa de producción, y esto pudo aumentar la producción en su últimos muestreos. La película Convencional presentó aumentos a partir del muestreo ocho, debido a que la incidencia de la PAR disminuyó gradualmente presentando mejores características para las plantas en estos periodos, teniendo valores de número de frutos total similares que la Malla sombra, a pesar de que en la malla sombra se tuvieron cuatro muestreos menos.

Cepeda (2010), en un experimento de producción de tomate cherry bajo malla sombra encontró que las plantas desarrollaron 11 racimos florales por planta los cuales se producían entre 8 y 9 frutos por racimo teniendo como un total de 99 frutos por planta, teniendo en cuenta que en esta investigación se obtuvo un total de 351 frutos por planta en Malla sombra, siendo menor en comparación con las películas de CIQA y Convencional, podemos inferir que en cubiertas de polietileno se tienen mayor número de frutos por planta.

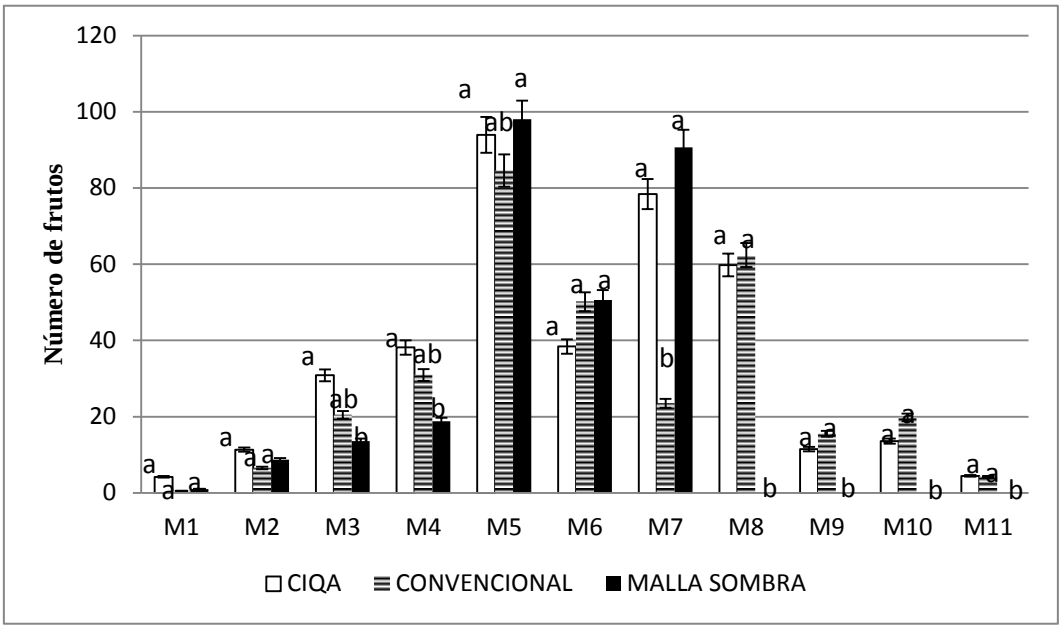

Figura 4.18 Número de frutos cosechados por muestreo en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra.

En lo que respecta al número total de frutos, la película CIQA se comportó de forma similar que para el caso del rendimiento del peso del fruto. Es decir, la película CIQA, superó estadísticamente a la película comercial y a la malla sombra (Fig. 4.19). La película CIQA produjo alrededor de un 15% más de frutos en total de tomate cherry tipo uva debido a la menor incidencia de la PAR dentro de la cubierta.

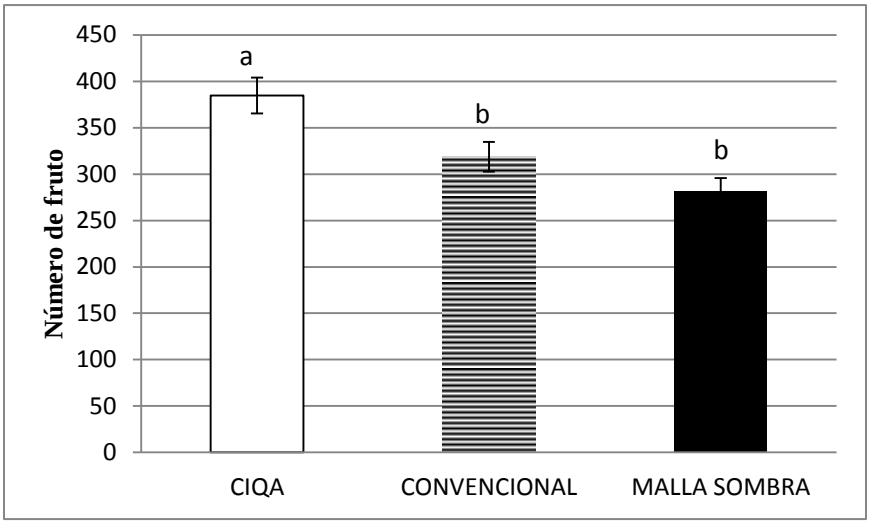

Figura 4.19 Número de frutos cosechados en total en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra.

4.14 Calidad de fruto

La calidad de fruto se obtuvo mediante la selección de frutos por tamaños: frutos chicos, medianos y grandes, para ello se realizaron tres muestreos, en cada muestreo se escogieron por invernadero 5 de los frutos más grandes, 5 de los más pequeños y 5 frutos de tamaño intermedio entre grandes y pequeños, mejor conocido como medianos, sin embargo para determinar la calidad de frutos no se utilizó ninguna escala. Para realizar la comparación entre los tratamientos se tomaron los diámetros polar y ecuatorial. La película CIQA muestra la mayor calidad en los tres tipos de frutos (Fig. 4.20): chicos, medianos y grandes y en los dos parámetros de medición: diámetro polar y diámetro ecuatorial. La calidad del fruto fue superior en la película plástica correspondiente a CIQA, aunque tuvo condiciones micriclimaticas similares de menor temperatura, mayor humedad relativa y menor déficit de presión de vapor que la Malla sombra, en esta última no presentó tanta protección, ya que dejaba pasar la lluvia al interior del cultivo, provocando una mayor defoliación de las hojas,

y mayor incidencia de plagas, además del porcentaje de difusión de la Malla sombra fue menor que la película CIQA, dicha calidad se determinó por el tamaño de los frutos, teniendo un mayor tamaño de fruto, chico, pequeño y grande en la película CIQA. Este aumento en la calidad de fruto es muy deseable con fines de exportación y requisito indispensable para alcanzar los mejores precios de venta.

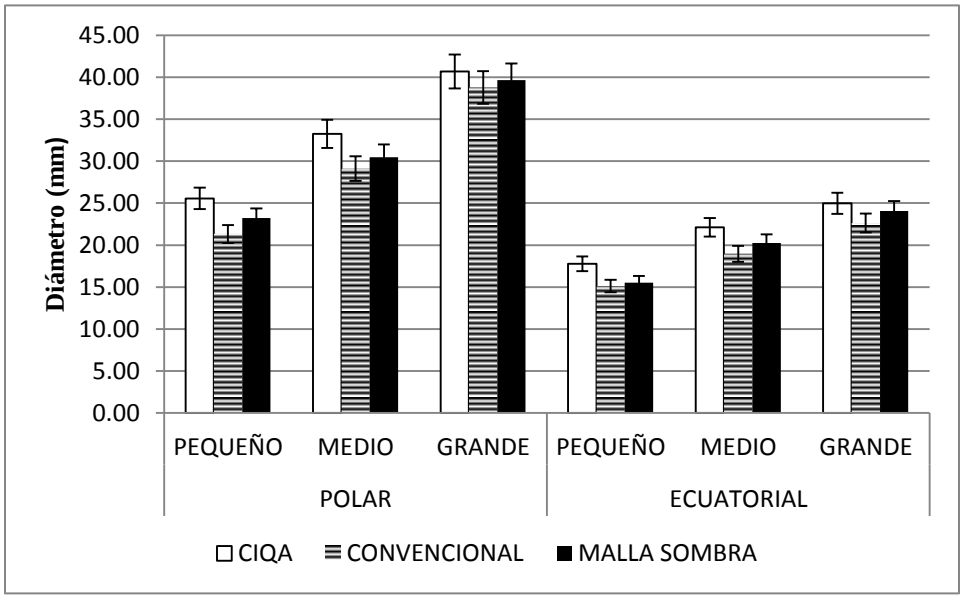

Figura 4.20 Calidad de Fruto en plantas de tomate cherry tipo uva bajo invernaderos cubiertos con diferentes películas plásticas y Malla Sombra, en diferentes períodos de desarrollo del cultivo, en la parte superior de cada grafica se representa el coeficiente de variación.

La calidad del tomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de la forma (dependiendo del tipo puede ser redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada), el color. El tamaño es un factor que define el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial (Rosales 2008)

En un estudio realizado por Robles en el 2009, en Torreón Coahuila bajo cubiertas plásticas de polietileno en la producción de tomate cherry , encontró dimensiones de diámetro polar de 25 mm y para diámetro ecuatorial se tuvo una media de 24 mm, comparado con los resultados en esta investigación podemos ver que los diámetros polares son menores debido

a que el tomate cherry tipo uva tiene la particularidad de tener forma alargada, lo cual aumenta las dimensiones de diámetro polar, sin embargo esto no puede caracterizarse como una mejor calidad de fruto debido a que son dos variedades diferentes.

En un estudio realizado por Max ***et. al***. en el centro de Tailandia en el año 2005, sobre cuatro invernaderos, dos de ellos fueron cubiertos con malla sombra y ventilados mecánicamente cuando la temperatura supera los 30 ° c, y los otros dos invernaderos se cubrieron con películas de polietileno y equipados con un ventilador y con almohadilla de refrigeración, teniendo en cuenta que en las películas de polietileno se redujeron la temperaturas 2.6 y 3.2 °c, en relación con la temperatura de Malla-sombra y la temperatura exterior. Se tuvo una mayor humedad relativa alrededor del 20 y 30 % más en las películas de polietileno que la malla-sombra y la humedad relativa exterior, además de que el consumo de agua fue significante más bajo en los invernaderos de películas de polietileno. Se obtuvo un rendimiento de fruto similar, (6.4 kg planta) en la malla-sombra, y (6.3 kg planta en las películas de polietileno), existió una mayor incidencia en el rajado del fruto en las películas de polietileno, debido a la mayor cantidad de humedad relativa, concluyendo que en las regiones tropicales de alta humedad relativa, sin modificaciones técnicas de deshumidificación, no mejorará la producción de tomate en sistemas protegidos. Los resultados mostrados en cuanto al rendimiento son similares, sin embargo la comparación se hace en climas tropicales, donde existe mayor humedad relativa, y esto causa problemas con la calidad de los frutos.

V. CONCLUSIONES

-La película que presentó menor radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue la película CIQA, pero la trasmisión en la Malla Sombra fue similar a la película CIQA.

-Al disminuir la trasmisión de la PAR, se reduce la temperatura ambiental en los invernaderos CIQA y Malla Sombra, reflejándose en un mejor desarrollo del cultivo.

-La mayor trasmisión de la PAR en el invernadero con película Convencional causó altas temperaturas ambientales y un daño en los trasplantes en este invernadero y una mayor reposición de planta

-cuando se modula la trasmisión de la PAR y la temperatura en los invernaderos se obtiene mayor precocidad y rendimiento de fruto, además de una mayor calidad de los frutos.

-La mayor radiación presentada en el invernadero Convencional ocasionó que las plantas tuvieran una menor área foliar específica, por el contrario, a menor PAR se incrementó la AFE.

-Aunque en las plantas del invernadero Convencional la TAN y la TCR, generalmente fueron mayores, esto no se reflejó en el desarrollo y la productividad del cultivo debido a que tuvo un Área foliar muy limitada y muy poca biomasa acumulada.

-Las plantas en el invernadero CIQA y la Malla Sombra tuvieron tasas de crecimiento menores, pero un aparato fotosintético mucho mayor que en las plantas del invernadero convencional, lo cual se reflejó en mayor productividad del cultivo.

-Para tener mayor productividad en el cultivo es necesario potenciar el aparato fotosintético y esto se logra modulando la radiación fotosintética y la temperatura ambiental en los invernaderos

-La reducción de la PAR en la región sureste de Coahuila en un 50-60 % , en el periodo primavera verano no tuvo ningún efecto negativo sobre el cultivo, por el contrario, se mejoró la productividad

-La característica refrescante de la película CIQA es de suma importancia para la utilización en regiones donde se tiene alta incidencia de radiación PAR, ya que permitirá mejores condiciones ambientales dentro del invernadero, mejorando la productividad.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Ainsworth, E.A., P.A. Davey, C.J. Bernacchi, O.C. Dermody, E.A. Heaton, D.J Moore, P.B. Morga, S.L. Naidu, H.-s. Yoo Ra, X.-g. Zhu, P.S. Curtis, S.P. Long, 2002. A meta-analysis of elevated [CO2] effects on soybean (Glycine max) physiology, growth and yield. *Global Change Biol*. 8, 695–709.

Al-Maaded, M., N.K. Madi, R.Kahraman, A. Hodzic, N.G. Ozerkan 2011. An overview of solid waste management and plastic recycling in Qatar. *J Polym Environ*. Volume 471, 999-1004. 2011

Angus, R. and R. Morrison. 1998. Review of wavelength selective films for plant growth and enhancement. *Landwards*. 53 (2): 19-22.

Ardila G., G. Fischer, y E. Balaguera 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. Revista colombiana de ciencias hortícolas - vol. 5 - no.1 - pp. 44-56, 2011.

Astiz , M., J. Del Castillo, A. Uribarri, G. Aguado, y S. Sabada, 2010. Nuevos plásticos en invernadero plásticos fotoselectivos antiplagas. Revista Navarra Agraria. 41- 47- 2010.

Baille A. , M. Tchamitchain, 1993. Solar radiation in greenhouses. Varlet-Granchet, Bonhomme, Sinoquet (Eds.), Crop Structure and Light Microclimate, INRA Editions, Paris (1993), pp. 93–105

Ballaré, C.L., M.M. Caldwell, S.D. Flint, A. Robinson, J.F. Bornman, 2011. Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns,mechanisms, and interactions with climate change. *Photochem. Photobiol*. *Sci*. 10, 226–241.

Barraza F., G. Fisher, C. Cardona, 2004 Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia.

Agronomía Colombiana, vol. 22, núm. 1, 2004, pp. 81-90. Universidad Nacional de Colombia.

Besford, R.T., L.J. Ludwig, A.C. Withers, 1990. The greenhouse effect: acclimation of tomato plants growing in high CO2, photosynthesis and ribulose-1,5- bisphosphate carboxylase protein. J. Exp. Bot. 41, 925–931.

Bouzo, C.A. y R. Pilatti, (1999). Evaluación de algunos factores que afectan la transmisión de radiación solar en invernaderos. F.A.V.E. 13(2):13-19.

Brugginnk G. 1992. A comparative analysis of the influence of light on growth of young tomato and carnation plants. *Scientia Horticulturae* Volume 51, Issues 1–2, July 1992, Pages 71–81.

Brugginnk G. y E. Heuvelink, 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Scientia Horticulturae* Volume 31, Issues 3–4, May 1987, Pages 161–174.

Cabrera F., J. Baille, J. López, M. González-Real, J. Pérez-Parra. Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. Biosystems Engineering. Volume 103, Issue 3, July 2009, Pages 344–356

Campos D. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Univesidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de ingeniería. Pp (34-35)

Cannell, M.G.R., J.H.M. Thornley, 1998. Temperature and CO2 responses of leaf and canopy photosynthesis: a clarification using the non-rectangular hyperbola model of photosynthesis. Ann. Bot. 14, 729–739.

Caldwell, M.M., J.F. Bornman, C.L. Ballaré, S.D. Flint, G. Kulandaivelu, 2007. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochem. Photobiol*. Sci. 6, 252–266

Carrasco, L, 2009. Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. IDESIA (Chile) septiembre. Volumen 27 N° 3, páginas 59-76.

Casierra F 2007. Fotoinhibición: Respuesta fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. Revista colombiana de ciencias hortícolas. Vol. 1-No. 1- PP. 114-123, 2007.

Casierra F., M. Constanza, y J. Cárdenas 2007. Análisis de crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 25(2), 299-305, 2007

Castilla N. 2007 Invernaderos de Plástico. Tecnología y manejo. 2da edición, mundi-prensa. Pp (59-60)

Cepeda, G. 2010. Respuestas fisiológicas y rendimiento del tomate cherry (Solanum lycopersicum L. cv. Camelia) producido orgánicamente en condiciones de casa sombra. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 65pp.

Chaverri, Y. 1985. Compendio de Agronomía Tropical. IICA. Ministerio de relaciones exteriores de Francia.Volumen 1. Pp 92-95

Chen, G.Y., Z.H. Yong, Y. Liao, D.Y. Zhang, Y. Chen, H.B. Zhang, J. Chen, J.G Zhu, D.Q. Xu, 2005. Photosynthetic acclimation in rice leaves to free-air CO2 enrichment related to both ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation and ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation. *Plant Cell Physiol*. 46, 1036–1045.

Chou, M.D., K.T. Lee, 2008. Parameterizations for the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. *American Meteorological Society* 1996; 53:1203–8.

Clough, J.M., M.M. Peet, 1981. Effects of intermittent exposure to high atmospheric CO2 on vegetative growth in soybean. *Physiol. Plant*. 53, 565–569.

Coley, P. D. 1988. Effects of plant growth rate and leaf lifetime on the amount and type of anti-herbivore defence. Oecologia 74: 531-536.

CONAGUA. 2013. Reporte del clima en México. Servicio meteorológico nacional. Gerencia de meteorología y climatología. Subgerencia de pronóstico a mediano y largo plazo.

Conde M.P. 2011. Presente futuro de la industria del plástico en México. Ambiente plástico. Centro Empresarial del Plástico. PEMEX

Cortés, G. 1994. Atlas Agropecuario de Costa Rica. CONICIT. Consejo nacional de investigaciones científicas y tecnológicas. Pp 12-14.

Dayan E., Z. Enoch, M. Fuchs, I. Ziopori, 1986. Suitability of greenhouse building types and roof cover materials for growth of export tomatoes in the Besor region of Israel. I. Effect on climatic conditions Biotronics, 15 (1986), pp. 61–70

De Castro, F. y N. Fetcher. 1998. Three dimensional model of the interception of light by a canopy. Agricultural and Forest Meteorology 90(39), 215-233.

De Jong J y J. Jansen 1992. Genetic differences in relative growth rate and partitioning growth components in Chrysanthemum morifolium. Scientia Horticulturae. Volume 49, Issues 3–4, March 1992, Pages 267–275.

DIAGRO 2010. Grupo Diagrosin de México. Agricultura de calidad.

Escalona, V., P. Alvarado, H. Monardes, C. Urbina y A. Martín, 2009. Manual del cultivo (Lycopersicon esculentum Mill.). Nodo Hortícola VI Región. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de chile.

Espi E., A. Salmeron, Y. Garcia, y F. Catalina, 2002. Pigmentos de inferencia como modificadores del espectro de transmisión de filmes agrícolas. Revista de plásticos modernos. 83:50-56.

Espí, E. 2012. Materiales de cubierta para invernaderos. Centro de Tecnología Repsol. cuadernos de estudios agroalimentarios ISSN 2173-7568. 71-88

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

FAO, 2008. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riego y drenaje pp 39-40.

FIRA. 2007. Agricultura protegida: Cultivo de tomate en invernadero. Costos de Cultivo y Análisis de rentabilidad. Dirección de consultoría en Agronegocios Dirección Regional del Norte. Agencias Montemorelos, Saltillo, Parral, Cuauhtémoc, N. Casas Grandes y Cd. Juarez.

Garland, C.F., F.C. Garland, E.D Gorham, 2003. Epidemiologic evidence for different roles of ultraviolet A and B radiation in melanoma mortality rates. Annals of Epidemiology 13, 395e404

Geoola, F., V. Peiper, y M. Geoola, (1994). Outdoor testing of the condensation characteristics of plastic film covering materials using a model greenhouse. J. Agric. Engng. Res. 57:167-172.

Geola F., Y. Kashti, A. Levi y R. Brickman. Quality evaluation of anti-drop properties of greenhouse cladding materials. *Polymer Testing*. Volume 23, Issue 7, October 2004, Pages 755–761.

Gliesman, S., 1998. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Temperatura. Respuestas de las plantas a la temperatura. Pp 64-66.

Godoy, A. 2007. "Análisis de Películas Utilizadas en Invernadero" tesis de posgrado. Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. GUAYAQUIL – ECUADOR. 153pp.

Goswami S., S. Sharma, C. Haldar, 2013. The oxidative damages caused by ultraviolet radiation type c (uvc) to a tropical rodent *Funambulus Pennanti*: Role of a melatonin. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 125 (2013) 19 25

Gruijl, F.R., H.J. Sterenborg, P.D Forbes, R.E. Davies, C. Cole, G. Kelfkens, H. van Weelden, H. Slaper, J.C van des Leun, 1993. Wavelength dependence of skin cancer induction by ultraviolet irradiation of albino hairless mice. Cancer Research 53, p53e60

Hernández J., I. Escobar y Castilla N. 2002. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Caja rural de Andalucía y junta de Andalucía. Andalucía España. 10-12.

Herrera, A.L 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato. Terra volume 17 Número 3.

. Heuvelink, E.; L. Batta, y T. Damen, (1995). Transmission of solar radiation by a multispan Venlo-type glasshouse: validation of a model. Agric. For. Meteorol. 74:41-59.

Iglesias, N y A. Muñoz, 2007. Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. Horticultura Argentina 26(60): Ene-Jun. 2007

Infoagro, 2013. El cultivo de tomate (1ª parte). Manual del cultivo del tomate *Solanum lycopersicum.*

Jaramillo J., P. Rodríguez., M. Guzmán., y M. Zapata, 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero (*Lycopersicum esculemtum* Mill.) Boletín técnico 21. CORPOICA. Centro de Investigación La selva Rionegro, Antioquía, Colombia 2006.

Juárez P., R. Bugarín, R. Castro, L. Sánchez, E. Cruz, C. Juárez, y G. Alejo, 2011. Estructuras utilizadas en la Agricultura protegida. Revista Fuente Año 3 No. 8 Julio - Septiembre 2011.

Kurata, K., 1992. Two dimensional analysis of irradiance distribution at canopy foliage in relation to the diffusivity of films of plastic houses Acta Horticulturae, 303 (1992), pp. 113–120.

Lamnatau. Chr. X, y D. chemisana.2012 Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, Nir and UV-blocking materials.

Lee, S.F., P. Oberbauer, B. Johnson, M. Krishnapilay, H. Mansor, H. Mohamad and S.K. Yap, 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function

in seedlings of two southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. *Amer. J. Bot.*. 87(4): 447-455.

López G. y V. Losada, 2006. Agroplasticultura y riego localizado. Acuerdo de Cooperación Técnica SEMARNAT/CNA.OMM 2005. Proyecto de fortalecimiento del manejo integrado del agua PREMIA. Región del Acuífero Ojo Caliente Aguascalientes encarnación. 187pp.

Mavrogianopoulos, G.N 2001 .Greenhouses.thirded.Athens:Ath.Stamoulis

McKenzie, R.L., P.J. Aucamp, A.F. Bais, L.O. Björn, M. Ilyas, S. Madronich. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochemical and Photobiological Sciences*. Volume 10, Issue 2, February 2011, Pages 182-198

Max, J., W. Horst, U. Mutwiwa y H.J. Tantau. 2008. Efects of greenhouse cooling method on growth, fruit yield and quality of tomato (*solanum Lycopersicum* L.) in a tropical climate. *Scientia Horticulturae* 122 (2009) 179–186

Monardes H, C. 2009. Manual del cultivo (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Nodo Hortícola VI Región. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de chile.

Murillo. G, 2009. Uso de mallas de color en la agricultura Moderna. Boletín del programa nacional sectorial de producción agrícola bajo ambientes protegidos. Año 3-Número 17.

Nuez, F y M. J Díez. 2013. *Solanum lycopersicum* var. *lycopersicum* (Tomato). Brenner´s Encyclopedia of Genetics (Second Edition) pages 476-480. Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain.

Pérez A. 2009. Evaluación de las propiedades ópticas y mecánicas de diferentes cubiertas plásticas para invernadero. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 49 p.

Pérez,P., G. Zita, R. Morcuende, R. Martínez-Carrasco, 2007. Elevated CO2 and temperature differentially affect photosynthesis and resource al location in flag and penultimate leaves of wheat. *Photosynthetica* 45, 9–17.

Picuno. P, C., R. Sica, A. Laviano, A. Dimitrijevic, y G. Scarascia 2012. Experimental test and technical characteristics of regenerated films from agricultural plastics. Polymer Degradation and Stability.

Pollet. I., J. Pieters, J. Deltour, R. Verschoore, 2005. Diffusion of radiation transmitted through dry and condensate covered transmitting materials Solar Energy Materials and Solar Cells, 86 (2005), pp. 177–196.

Pollet I. y J. Pieters, 2002. Forward scattering induced by water drops on a transmissive substrate Applied Optics, 41 (2002), pp. 5122–5129

Raveh E., S. Cohen, T. Raz, A.Grava, E. Goldschmidt, 2003. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate Journal of Experimental Botany, 54 (2003), pp. 365–373.

Robles, G. G., 2009. Poda en tomate cherry (Lycopersicon ceraciforme L.) bajo invernadero P-V 2005. Comarca Lagunera.

Rodríguez, J.L. 1999. Nuevos calibres. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Agosto de 1999. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 73 p.

Rodríguez M. I, 2010. Cubiertas plásticas para invernadero. Agricultura en línea

Rosales, V. 2008. Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiológica Vegetal. Granada, España. 231pp.

SAGARPA 2010. Jitomate. Monografía de cultivos. Subsecretaria De Fomento a los Agronegocios.

Sasek, T.W., E.H. Deluci, B.R. Strain, 1985.Reversibility of photosynthetic inhibition In cotton after long-term exposure to elevated CO2 concentrations. *Plant Physiol*. 78, 619–622.

SIAP. Servicio de información Agroalimentaria y pesquera. 2013. Resumen nacional de la producción Agrícola. Avance de siembras y cosechas. Cultivos de interés. Tomate rojo (jitomate).

Sonneveld PJ, S. Glam, G.P.Bot, G. Flamand, 2010. Feasibility study for combining cooling and high grade energy production in a solar greenhouse. Biosystems Engineering 2010;105:51–8.

Soto H. 2010. Riesgos y Peligros. Exploraciones Geológicas para la minería en gran altura geográfica. Pp 74-75

Tedeschi A., M. Ricardi, M. Menenti. 2011. Melon crops (Cucumis melo L., cv. Tendral) grown in a mediterranean environment under saline–sodic conditions: Part II. Growth analysis. *Agricultural Water Management* Volume 98, Issue 9, July 2011, Pages 1339–1348

Tezuka T., F. Yamaguchi, Y. Ando, 1994. Physiological activation in radish plants by UV-A radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology Volume 24, Issue 1, June 1994, Pages 33–40. Department of Agronomy, School of Agricultural Sciences, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-01 Japan.

Torres O. 1991. Cultivo de tomate *Licopercicon esculentum Mill.* Con acolchado de suelo en invernadero, microtúnel e interperie. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 103 p.

Vázquez, J.L., 2005. Efecto del acolchado con películas fotoselectivas de diferentes características fotométricas, sobre el crecimiento y rendimiento del tomate (Lycopercicom esculentum Mill). Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 104 p.

Vegas T., C. Méndez y W. Rodríguez 2012. Análisis de crecimiento de cinco híbridos de zanahoria (*Daucus carota L.)* mediante la metodología de análisis funcional. *Agronomía Costarricense* 36(2): 29-46. ISSN:0377-9424 / 2012

Villar R., J. Ruiz, J.L Quero, H. Poorter, F. Valladores y T. Marañón, 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Pp.191-227.

Viloria J., 2011. Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial solar. Pp 84-85

Vos, J. y P. E. van der Putten. 2001. Effects of partial shading of the potato plant on photosynthesis of treaded leaves, leaf area expansion and allocation of nitrogen and dry matter in components plants parts. *European Journal of Agronomy* 14(3), 209-220.

Wolfe, D.W., Gifford, R.M., Hilbert, D., Luo, Y., 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO2 at the whole-plant level. *Global Change Biol*. 4, 879–893.

Wünsche, J.N. 2000. The relationship between leaf area and light interception by spur and extension shoot leaves and apple orchard productivity. *Hort Science* 35(5), 1.202 1.206.

Xu, D.Q., R.M. Gifford, W.S. Chow, 1994. Photosynthetic acclimation in pea and soybean to high atmospheric CO2 partial pressure. *Plant Physiol*. 106, 661–671.

Yelle, S., R.C. BeesonJr, M.J. Trudel, A. Gosselin, 1990. Duration of CO2 enrichment influences growth, yield, and gas exchange of two tomato species. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 115, 52–57.

Zhang, D.Y., G.Y. Chen, J. Chen, Z.H Yong, J.G. Zhu, D.Q. Xu, 2009. Photosynthetic acclimation to CO2 enrichment relatedto ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation in wheat. Photosynthetica 47, 152 154

Zhang X, B.S. Rosenstein, Y. Wang, M. Lebwohl, H. Wei, 1997. Identification of possible reactive oxygen species involved in ultraviolet radiation-induced oxidative DNA damage, Free Radical Biology and Medicine 23 (1997) 980–985