

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

Saltillo Coahuila, a 26 de Noviembre de 2015

Coordinación de Posgrado

PRESENTE

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **ELVA LILIANA ROJAS SÁNCHEZ** titulado "**La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate**" el cual fue presentado el día 23 de Noviembre de 2015, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,

SINODALES


Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez


Dr. Adalberto Benavides Mendoza


M.C. Jairo Vázquez Lee

Vo. Bo. del Asesor


Dr. Marco Antonio Arellano García

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: ELVA LILIANA ROJAS SÁNCHEZ FIRMA



TITULO: La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate.

ASESOR: Dr. Marco A. Arellano García FIRMA



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

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

Saltillo, Coahuila, a 23 de Noviembre de 2015



Sello de la Institución



Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate

TESIS

Presentada por:

ELVA LILIANA ROJAS SANCHEZ

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

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

TESIS

La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate

Presentada por:

ELVA LILIANA ROJAS SÁNCHEZ

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Marco Antonio Arellano García

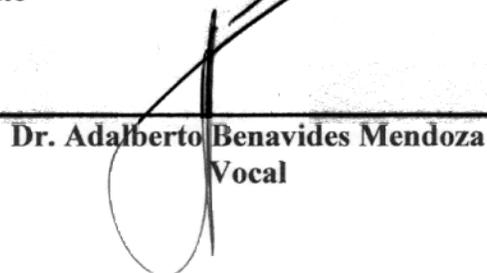
SINODALES



Dr. Antonio S. Ledezma Pérez
Presidente



M.C. Jairo Vázquez Lee
Secretario



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Vocal

Saltillo, Coahuila

Noviembre, 2015

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 23 de Noviembre de 2015



ELVA LILIANA ROJAS SÁNCHEZ

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme el apoyo económico con lo cual me permitió la realización de una maestría y durante el desarrollo de esta tesis.

A mi asesor Dr. Marco Antonio Arellano García, por su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo de investigación.

A mis sinodales Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez y al M.C. Jairo Vázquez Lee por las aportaciones realizadas durante la revisión de este documento.

A la Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández, por su disposición para la revisión del escrito y consejos para su elaboración. Por brindarme su amistad y confianza en todo momento.

Al Dr. Manuel De La Rosa Ibarra, por su asesoría, por compartir sus conocimientos y el apoyo en la revisión del escrito.

A la Dra. Francisca Ramírez Godinam, por su apoyo y facilitación de equipo y laboratorio para realizar parte de este trabajo.

A la M.C. Gladys de los Santos Villarreal, por todo el apoyo brindado en Posgrado.

Al técnico M.C. Adolfo Baylon Palomino, por su apoyo en las mediciones con el LICOR.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron acompañándome y ayudando en el desarrollo de esta tesis, en especial a mis mejores amigos *Eriberto Pérez López* y *Moisés Felipe Victoriano*, y a todas aquellas personas que de una u otra forma intervinieron para poder llevar a cabo este trabajo de tesis, gracias.

DEDICATORIAS

A Dios, por hacer posible mi existencia, por guiarme por el camino del bien y darme las fuerzas necesarias para poder realizar el presente trabajo y así cumplir una más de mis metas como profesionalista.

A mi madre, a quien debo lo que ahora soy y por lo más grande que me han dado, “la vida”.

A mi hermano, por su apoyo y por ser mi motivo de inspiración para seguir superándome día con día, a ti hermanito gracias por estar ahí cerca de mí.

A mi mejor amiga, compañera y confidente **Ileana Barboza**, por brindarme su apoyo, buenos consejos, comprensión, apoyo incondicional y por ayudarme en la terminación de este caso de estudio, por continuar apoyándome día con día en las decisiones que tomo y por caminar a mi lado en los buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1 Uso de plásticos en la agricultura	3
II.2 Importancia de la Agricultura protegida.....	3
II.3 Películas plásticas	4
II.4 Ambiente protegido: el uso de túnel.....	5
II.5 Factores que afectan el cultivo dentro de un ambiente protegido	6
II.5.1 Temperatura	6
II.5.2 Humedad relativa.....	6
II.5.3 Luminosidad	7
II.6 Radiación solar	7
II.7 Importancia de la radiación PAR en las plantas	8
II.8 Procesos fisiológicos de las plantas influenciados por la luz	8
II.9 Generalidades del cultivo de Tomate	9
II.10 Clasificación taxonómica	9
II.11 Descripción botánica	10
II.12 Importancia económica del cultivo de tomate.....	10
II.13 Requerimientos ambientales del cultivo de tomate	11
II.13.1 Radiación solar	11
II.13.2 Temperatura	12
II.13.3 Humedad relativa.....	13
II.13.4 CO ₂ y Fotosíntesis.....	13
II.14 Análisis de crecimiento	14
II.15 Índices de crecimiento.....	15
II.15.1 Tasa de asimilación neta (TAN)	15

II.15.2 Índice de área foliar (IAF)	15
II.15.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	16
II.15.4 Relación de área foliar (RAF).....	16
II.15.5 Relación de peso foliar (RPF).....	17
II.15.6 Área foliar específica (AFE).....	17
II.15.7 Índice de eficiencia de crecimiento del fruto (IECfr)	17
II.15.8 Coeficientes de partición de biomasa (CPB)	17
III. JUSTIFICACIÓN.....	19
IV. OBJETIVOS.....	19
IV.1 Objetivo general.....	19
IV.2 Objetivos específicos	19
V. HIPÓTESIS	20
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	21
VI.1 Localización Geográfica del Sitio Experimental	21
VI.2 Establecimiento del experimento	21
VI.2.1 Especificaciones de los túneles	21
VI.2.2 Tratamientos.....	21
VI.2.3 Híbrido	22
VI.2.4 Trasplante.....	22
VI.2.5 Manejo agronómico del cultivo.....	22
VI.3 Diseño Experimental.....	23
VI.4 Variables a evaluar.....	23
VI.4.1 Temperatura y humedad relativa.....	23
VI.4.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR).....	23
VI.4.3 Variables morfológicas	24
VI.4.4 Peso seco de planta.....	24
VI.4.5 Área Foliar.....	24
VI.4.6 Análisis de crecimiento	24
VI.4.7 Fotosíntesis.....	26
VI.4.8 Calidad de los frutos.....	26
VI.4.9 Rendimiento por planta	26

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
VII.1 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)	28
VII.2 Temperatura.....	30
VII.3 Humedad relativa.....	31
VII.4 Variables morfológicas.....	32
VII.4.1 Altura de planta.....	32
VII.4.2 Diámetro de tallo.....	33
VII.4.3 Longitud de nudos.....	35
VII.4.4 Número de flores por racimo	36
VII.4.5 Promedio de número de flores, frutos y abortos totales.....	37
VII.4.6 Viabilidad de polen	39
VII.5 Fotosíntesis	40
VII.6 Producción de flores y frutos.....	42
VII.6.1 Rendimiento comercial y no comercial	45
VII.7 Calidad de los frutos	46
VII.8 Análisis de crecimiento	48
VII.8.1 Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)	48
VII.8.2 Tasa de Asimilación Neta (TAN)	51
VII.8.3 Índice de Área Foliar (IAF)	53
VII.8.4 Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC).....	54
VII.8.5 Relación de Área Foliar (RAF).....	55
VII.8.6 Relación de Peso Foliar (RPF).....	56
VII.8.7 Área Foliar Específica (AFE)	57
VII.8.8 Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto (IECfr).....	58
VIII. CONCLUSIONES	61
IX. PERSPECTIVAS	61
X. REFERENCIAS	62
XI. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las propiedades de las películas a evaluar, análisis realizado en CIQA.	22
Cuadro 2. Sinopsis de fórmulas y unidades para índices de crecimiento en vegetales. Tomado de Plant Growth Analysis (Hunt, 1978).	25
Cuadro 3. Fórmulas y unidades para índices de crecimiento y coeficientes de partición de biomasa en vegetales. Empleadas por (De la Rosa, 2015).	26
Cuadro 4. Promedio de número de flores por racimo de tomate en la época de invierno, efecto causado por el bloqueo de radiación PAR en túneles.	36
Cuadro 5. Rendimiento comercial y no comercial en kg planta ⁻¹ de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.	45
Cuadro 6. Número de frutos cosechados (expresado en porcentaje) y su clasificación de acuerdo a (Mexicano, 2005), de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.	46
Cuadro 7. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 62 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.	48
Cuadro 8. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 94 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.	49
Cuadro 9. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 138 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.	50
Cuadro 10. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 198 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del campo experimental (Rojas, 2015).....	21
Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) registrada al exterior e interior de túneles. (01/12/2014 al 19/04/2015).....	28
Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) registrada al exterior e interior de túneles; datos correspondientes al promedio de los máximos del ciclo evaluado.....	29
Figura 4. Comportamiento de la temperatura exterior e interior de los túneles bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR, promedio del ciclo (29/11/2014 al 24/04/2015).....	30
Figura 5. Comportamiento de la humedad relativa promedio del ciclo exterior e interior de los túneles bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR (29/11/2014 al 24/04/2015)....	31
Figura 6. Altura de planta registrada mensualmente, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.....	33
Figura 7. Diámetro de tallo en cuatro fechas diferentes, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.....	34
Figura 8. Longitud de nudos mensual, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.....	35
Figura 9. Promedio de flores producidas por tratamiento de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.....	37
Figura 10. Comparación entre tratamientos sobre el promedio de flores, frutos y abortos totales contabilizados durante el invierno 2014 – 2015 de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de PAR.	39

Figura 11. Viabilidad de polen de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR, evaluada en tres fechas diferentes (12/03/2015, 27/03/2015 y 20/04/2015).	40
Figura 12. Fotosíntesis de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas, obtenida entre las 12:00 pm y 13:00 pm, en un día despejado a los 112 y 137 ddt, letras diferentes en la misma fecha indican diferencias significativas ($P < 0,05$).	41
Figura 13. Correlación entre radiación PAR y fotosíntesis, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas, obtenida a las 12:00 pm, en un día despejado en el mes de Marzo de 2015.	42
Figura 14. Número de frutos cosechados, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).	43
Figura 15. Comportamiento entre tratamientos y cada una de las variables evaluadas: número de flores totales, frutos cosechados, abortos y flor no polinizada, expresado en cantidad y porcentaje (el % es en relación al número de flores producidas por tratamiento) de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.	44
Figura 17. Rendimiento promedio de frutos cosechados de acuerdo a su clasificación según (Mexicano, 2005), de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.	47
Figura 18. Comportamiento de la tasa de asimilación neta en las plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.	52
Figura 19. Comportamiento del índice de área foliar en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.	54
Figura 20. Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.	55

Figura 21. Comportamiento de la tasa de relación de área foliar en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.56

Figura 22. Comportamiento de la relación de peso foliar en las plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.....57

Figura 23. Comportamiento del área foliar específica en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.....58

Figura 24. Comportamiento del índice de eficiencia del crecimiento del fruto en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.59

RESUMEN

El uso de los plásticos en la agricultura surgió como consecuencia de la escasez de agua y de la necesidad de producir cultivos fuera del ciclo productivo. La importancia del material de cobertura en la agricultura protegida, estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona. Actualmente se ha estado estudiando la respuesta del bloqueo de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), por medio de modificar las propiedades ópticas de los plásticos en la temporada de verano; sin embargo, en las regiones de bajas temperaturas es difícil mantener el ciclo de producción en la temporada de invierno, ya que los niveles radiativos decrecen. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta sobre el desarrollo y rendimiento del tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de la radiación PAR, durante la época invernal. La investigación se desarrolló en el invierno 2014 - 2015 en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila. Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (T1: 25% bloqueo de PAR; T2:35%; T3:50%; T4:60%; T5:75%) y cuatro repeticiones. Se obtuvieron los valores de PAR, temperatura y humedad relativa (H.R); así como variables de respuesta de las plantas como son: altura de planta, diámetro de tallo, longitud de nudos, número de flores, abortos y frutos, viabilidad de polen, área foliar, materia seca, fotosíntesis y rendimiento de frutos. De acuerdo a la comparación de medias el tratamiento del 50% de bloqueo, presentó los mejores resultados en relación a la altura de planta con 334 cm, diámetro de tallo, mayor longitud de nudos, en tanto el tratamiento 25% y 60% indujeron mayor número de flores promedio con 8.2 y 8.5 respectivamente, a su vez el mayor número de flores totales promedio con 158 y 151 respectivamente; sin embargo el tratamiento del 50% produjo más frutos cosechados (71 frutos), el tratamiento del 75% de bloqueo induce un 60.9% de flores no polinizadas, para la viabilidad de polen no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos durante el mes de marzo (80% de viabilidad), pero si para abril disminuyendo entre el 30 y 40% aproximadamente en todos los tratamientos, en tanto la fotosíntesis fue la misma para los tratamientos 25%, 35% y 50%, pero se vio afectada en los tratamientos con el 60% y 75% de bloqueo al presentar entre 6 y 10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ menos. En las variables climáticas la PAR promedio de los máximos por ciclo en el exterior alcanzó los 1463 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$, mientras que la PAR transmitida para los tratamientos con 25, 35, 50, 60 y 75% de bloqueo fue de 1010, 870, 716, 535 y 321 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ representando un 31, 40, 51, 63 y 78 % de bloqueo

respectivamente. La tasa de asimilación neta tiende a incrementar conforme pasan los días excepto para el tratamiento del 75%, quien lo disminuye. El tratamiento del 50% registró la mayor temperatura (25.8°C) y los tratamientos del 25% y 75% presentaron baja H.R. pero a la vez óptima. En cuanto al índice de área foliar, fue mayor con el tratamiento del 50% con 2614; también coincide con una mayor tasa de crecimiento del cultivo; esta capacidad de acumular biomasa se corrobora con el índice de eficiencia de crecimiento del fruto, ya que también fue mayor en el tratamiento del 50%, permitiendo las mejores calidades de fruto y los mejores rendimientos comerciales con 2.6 kg planta⁻¹. El tratamiento del 75% tuvo la mayor relación de área foliar (142 cm² g⁻¹) y la relación de peso foliar fueron altos a lo largo del ciclo, esto coincide con los valores de coeficiente de partición de biomasa de hoja donde se acumuló un mayor peso, a su vez también obtuvo los valores más altos de área foliar específica con 303 cm² g⁻¹. Con estos resultados se concluye que bloquear el 50% de radiación induce efectos positivos en el crecimiento, al observarse un buen comportamiento en los índices de crecimiento, debido a la modificación del microclima que generó mayores rendimientos.

Palabras clave: Radiación, rendimiento, índices de crecimiento, tomate.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es de los productos hortícolas de mayor importancia a nivel mundial, cuenta con niveles importantes de exportación aportando alrededor de un 35% de la producción de México al mercado de Estados Unidos (USDA, 2015). En México, el tomate es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera (Castellanos y Borbón, 2009). De las hortalizas que se cultivan en México, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la segunda más importante por la superficie cosechada y la primera en cuanto a su participación dentro del valor de la producción nacional de hortalizas. Los principales estados productores de tomate en la República Mexicana son: Sinaloa (con más del 35 % de la superficie cosechada), Baja California Norte, San Luis Potosí, Michoacán, Nayarit, Morelos y Sonora.

Al ser posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, la industria hortícola y la de plásticos han puesto énfasis en el estudio de la radiación (Samaniego *et al.*, 2002). El cultivo de tomate gracias a su alta demanda y con vistas a lograr producciones durante todo el año, ha exigido mejorar las prácticas de manejo, por lo cual se han desarrollado diferentes técnicas para su protección de condiciones climáticas adversas, dentro de este contexto esta la protección de los cultivos bajo plástico (polietileno), ya sea con túneles altos o invernaderos, genera cambios en las condiciones ambientales de luz, temperatura y humedad relativa (Lamont, 2005) y como consecuencia, deberían afectarse aspectos productivos y fisiológicos en la planta (Li *et al.*, 2012).

En la actualidad la producción nacional de tomate en la época otoño-invierno, se concentra en los estados de Sinaloa, Baja California Sur, Sonora, Michoacán y Nayarit, con rendimientos promedios de 57 Ton ha⁻¹, esta baja producción se debe a problemas causados por las bajas temperaturas y heladas, propios de la época otoño-invierno, generando una escases y elevación de precios en dicha hortaliza según datos del (SIAP, 2015); por tal motivo una solución para extender los periodos de cosecha e incrementar los rendimientos y calidad del cultivo de tomate en estas regiones, lo representa el uso de plásticos.

El objetivo en la presente investigación es evaluar el efecto del bloqueo de la Radiación PAR producido por diferentes películas plásticas para invernadero en función de la respuesta de

crecimiento, el desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate tipo bola, esperando poder incrementar la floración temprana, número de flores y frutos por planta, rendimiento del fruto y la biomasa vegetal en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

En la temporada invernal, los niveles radiativos decrecen y se requiere del estudio de la respuesta de los cultivos bajo condiciones de radiación limitada, objeto del presente estudio, permitiendo de esta forma incrementar la producción y calidad de los frutos sin incrementar la superficie sembrada, promover la cosecha temprana, lo que significara poder competir con otros productores al salir antes al mercado debido a la precocidad de la producción consiguiendo un mejor precio de venta; se reducirá con ello la importación del tomate y se generaran más empleos.

II. ANTECEDENTES

II.1 Uso de plásticos en la agricultura

El uso de los plásticos en la agricultura surgió como consecuencia de la escasez de agua y de la necesidad de producir cultivos fuera del ciclo productivo. La Plasticultura es el área de la agricultura que involucra el uso de los plásticos (polímeros) en la producción agrícola a través de técnicas con acolchado de suelos, mallas agrícolas, riego por goteo, etc., con la finalidad de incrementar los rendimientos y calidad de la producción, adelantar cosechas, cosechas fuera de temporada, controlar malezas e insectos, así como hacer un uso eficiente de agua, suelo, fertilizantes y mano de obra.

La producción de cultivos en invernadero es una técnica moderna usada en la producción agrícola; su ventaja sobre el método tradicional a cielo abierto es que se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera crea un microclima que permite protegerlo del viento, granizo, heladas, plagas, enfermedades, hierbas y animales (Castañeda *et al.*, 2007).

II.2 Importancia de la Agricultura protegida

Actualmente la horticultura protegida en México es uno de los componentes esenciales de la actividad agrícola de alta tecnología, al igual que en diferentes partes del mundo (Muñoz, 2003). Este tipo de agricultura se desarrolla en diferentes regiones y en diversas condiciones agroclimáticas, además se tiene estimado que 80% de los cultivos bajo condiciones protegidas se establecen directamente en suelo y el resto en algún tipo de sustrato (Castellanos, 2004).

La agricultura protegida tiene como función producir alimentos bajo diferentes métodos de producción como; invernadero, túnel, micro túnel, cubiertas flotantes y malla sombra, entre otros. Este tipo de agricultura se considera una de las principales tendencias para la producción de cultivos hortícolas en estructuras cerradas cubiertas con materiales plásticos de polietileno, polipropileno u otro material, con el que se puede obtener condiciones controladas de

temperatura, humedad, precipitación, heladas, plagas y enfermedades, adaptándolas a las diferentes estructuras que permitan la producción de diferentes cultivos (Ordoñez, 2010).

Se considera que es importante para la mayoría de los productores que la emplean debido al buen manejo de los cultivos que se pueden realizar, su rápido crecimiento, desarrollo y óptima producción de las plantas, la minimización significativa de los productos agroquímicos empleados, producción fuera de temporada, precocidad, aumentar los rendimientos, acortar los ciclos vegetativos y mejorar la calidad de los cultivos mediante el microclima controlado; además, es adecuada para agricultores de bajos y de altos recursos económicos (Otazú, 2010).

II.3 Películas plásticas

Los plásticos han permitido convertir tierras aparentemente improductivas en modernísimas explotaciones agrícolas, en agricultura el plástico se utiliza en invernaderos, macro túneles, micro túneles, acolchados, mallas en el control de plagas (plásticos fotoselectivos), en el control de enfermedades (solarización), en el riego, etc. La importancia del material de cobertura en el cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se va a construir el invernadero (Mantallana y Montero, 2001).

En la actualidad existen gran variedad de tipos de materiales para el recubrimiento de invernaderos. Seleccionar las mejoras en la agricultura protegida de acuerdo a sus propiedades ópticas está siendo cada vez más importante en los últimos años (Espí *et al.*, 2010).

Los plásticos son el resultado de la mezcla de combinación de los polímeros y los aditivos que les confieren características específicas, actualmente son los más utilizados para cubiertas de los invernaderos. El uso de plásticos con pigmento blanco que reduzcan la radiación solar de 20 a 40 % resultan ser muy utilizados en la actualidad (Bautista y Alvarado, 2005).

Las cubiertas plásticas que se utilicen dependerán del cultivo que se quiera establecer en el invernadero, ya que existe una gran variedad de estas y cada una posee diferentes propiedades para crear condiciones específicas en el invernadero; existen cubiertas que varían en la cantidad y calidad de luz que dejan pasar al interior del invernadero, existen otras que la reflejan, los que son

fotoselectivos, térmicos o anti plagas, así como las películas refrescantes, fluorescentes y las anti goteo.

El cultivo de tomate gracias a su alta demanda y con vistas a lograr producciones durante todo el año, ha exigido mejorar las prácticas de manejo, por lo cual se han desarrollado diferentes técnicas para su protección de condiciones climáticas adversas, dentro de este contexto esta la protección de los cultivos bajo plástico (polietileno), ya sea con túneles altos o invernaderos, genera cambios en las condiciones ambientales de luz, temperatura y humedad relativa (Lamont, 2005) y como consecuencia, deberían afectarse aspectos productivos y fisiológicos en la planta (Li *et al.*, 2012).

En los plásticos para invernadero, se había venido trabajando principalmente en mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de las películas, pero recientemente se ha tomado mayor conciencia en la importancia que tienen las propiedades ópticas de estos materiales, dado que la cantidad y calidad de luz afecta directamente los procesos fisiológicos, la velocidad y calidad de crecimiento del cultivo y la productividad (Lee *et al.*, 2000).

II.4 Ambiente protegido: el uso de túnel

En México existe una gran diversidad de regiones dispersas en el territorio nacional como diferentes climas, altitudes y condiciones meteorológicas contrastantes, en las que se podría producir bajo condiciones protegidas. En México la superficie sembrada con tomates como cultivo protegido (invernaderos, casa sombra, macro túneles) es cerca de 14,000 hectáreas en 2013/14 y 15 mil hectáreas en 2014/15 (USDA, 2015).

La cantidad y calidad de la luz transmitida por los plásticos, afecta el crecimiento de las plantas ya que una disminución en estas variables, tiene un efecto negativo sobre el cultivo pues se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, porque se encuentra relacionada directamente con el proceso fotosintético (Cerny *et al.*, 1999).

No obstante, el control de los niveles de iluminación dentro de los invernaderos solo se había abordado parcialmente. A partir de las dos últimas décadas del siglo pasado y lo que lleva el presente siglo, la investigación en este aspecto ha sido muy intensa y actualmente se aborda de

manera consistente el mejorar las características de las cubiertas para mejorar las condiciones ambientales al interior del invernadero.

Actualmente se ha estado estudiando la respuesta del bloqueo de la radiación PAR por medio de modificar las propiedades ópticas de los plásticos en la temporada de verano; sin embargo, en muchas regiones los cultivos no solo son de verano sino que pasan a la temporada invernal para incrementar los rendimientos y su productividad. En la temporada invernal, los niveles radiativos decrecen y se requiere del estudio de la respuesta de los cultivos bajo condiciones de radiación limitada, objeto del presente estudio.

II.5 Factores que afectan el cultivo dentro de un ambiente protegido

II.5.1 Temperatura

Noreña *et al.*, (2013b) menciona que la temperatura es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La temperatura es un factor determinante de la actividad metabólica y del crecimiento y desarrollo de los vegetales (Lorenzo, 2012). La correcta elección del material de cubierta puede ayudar a controlar las temperaturas diurnas excesivas en el invernadero en las zonas tropicales o desérticas. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada (Caldari, 2007).

Conociendo las necesidades del cultivo y las condiciones del medio ambiente de la región donde se va a producir, se puede seleccionar la película para cubierta que module más el microclima del cultivo para una mejor respuesta (Quezada, 2012).

II.5.2 Humedad relativa

La ausencia de control climático en el invernadero produce grandes variaciones diarias de la humedad relativa. El contenido de humedad de la atmósfera incide sobre: el turgor celular, la expansión foliar, el crecimiento y desarrollo aéreo y radicular de la planta, la transpiración del cultivo, la absorción de nutrientes y la producción de materia seca (Lorenzo, 2012). Si la ventilación no es adecuada, la humedad relativa aumenta por encima del nivel deseado, condensándose en la pared interna de la película. En periodos fríos suelen tener exceso de humedad por goteo de la condensación y a veces por entrada de lluvia (Montero, 2012).

II.5.3 Luminosidad

La luz es el factor principal para el crecimiento de la planta porque impulsa la fotosíntesis. La radiación es un elemento muy importante para el control climático de invernadero porque afecta de manera significativa la temperatura (Horticom, 2015). A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el CO₂ para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores (Pérez y Cortés, 2007).

La cantidad y calidad de la luz transmitida por los plásticos, afecta el crecimiento de las plantas ya que una disminución en estas variables, tiene un efecto negativo sobre el cultivo, se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, al estar directamente relacionada con el proceso fotosintético (Cerny *et al.*, 1999)

II.6 Radiación solar

La radiación es un factor importante que puede modificar el desarrollo de las plantas y la calidad de los frutos. La energía que llega a nuestro planeta es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda entre 200 y 4000 nanómetros (nm), entre las que se distinguen: radiación ultravioleta (UV), visible y radiación infrarroja (IR). Se conoce que del 100% de radiación que llega a la Tierra, el 9% es de UV, el 42% es de la visible y el 49% de radiación IR.

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y el principal insumo de bioproductividad vegetal. La parte de la radiación solar que es útil para la fotosíntesis de las plantas es designada como “Radiación Fotosintéticamente Activa” o PAR (iniciales de la expresión en inglés). Normalmente denominamos luz a la parte de la radiación solar que es visible para el ojo humano (Castilla, 2001).

Las plantas usan la luz comprendida entre los 400-700 nm (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa, o luz de crecimiento), formada por longitudes de onda de la radiación solar que pueden ser absorbidos por la clorofila y otros órganos fotocromáticos de las plantas, posibilitando la fotosíntesis, variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta.

II.7 Importancia de la radiación PAR en las plantas

La luz es un elemento clave en las modificaciones del aparato fotosintético, inducidas por diferentes factores abióticos, así también es uno de los tres factores más importantes que actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, junto con el oxígeno/CO₂ y los minerales. Existe una dependencia estacional en la proporción de radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) con respecto a la radiación solar. Los valores más altos ocurren durante el verano mientras que en el invierno estos valores son menores y más variables.

La radiación PAR captada por un vegetal determina la cantidad de materia seca producida y la calidad de la producción (Raffo y Iglesias, 2004). 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 solar es la fuente de energía utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis mediante el cual las plantas se desarrollan, producen y crecen de materia vegetal (Caldari, 2007).

II.8 Procesos fisiológicos de las plantas influenciados por la luz

Los procesos fisiológicos de la planta se ven afectados por la radiación que incluye tanto la UV como la RFA y la IR. La luz influye en la germinación de la semilla, pigmentación, apertura estomática, inducción a floración y tasa de floración, senescencia, inducción a la dormancia, longitud y diámetro de los internodos, la forma y tamaño de las hojas, raíces y flores. Las plantas que reciben niveles de luz insuficientes producen hojas pequeñas y menos anchas y tienen un menor peso total.

Las plantas que reciben excesivas cantidades de luz se pueden deshidratar, desarrollar puntos de crecimiento extra, hacerse blancas por la destrucción de la clorofila, y mostrar otros síntomas de estrés excesivo. Las plantas también son dañadas por la radiación calorífica en exceso (infrarroja) o radiación ultravioleta extrema (UV).

La luz es esencial para el crecimiento de las plantas, provee energía para la fotosíntesis, la fotosíntesis es el principal proceso fisiológico que impulsa el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos, además está muy influenciada por el medio ambiente (Marín *et al.*, 2014).

II.9 Generalidades del cultivo de Tomate

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más redituables en el mundo. México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del tomate. En la actualidad, se ha convertido en una de las hortalizas más populares y cultivadas en todo el mundo (Medina, et al., 2008).

En México el tomate es considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año, y se le consume tanto en fresco como procesado, siendo una fuente rica e vitaminas y minerales.

II.10 Clasificación taxonómica

Botánicamente, se clasifica el tomate como *Lycopersicon esculentum* Mill, este género pertenece a la familia de las solanáceas, es una planta perenne, las variedades se pueden dividir en dos tipos de acuerdo a su morfología: de crecimiento determinado e indeterminado.

Villarreal, (2005) describe la clasificación más actual y aceptada del tomate de la siguiente forma:

Reino:..... *Metaphyta*

División:*Magnoliophyta*

Clase:.....*Dicotyledoneas*

Orden:.....*Solanales*

Familia:.....*Solanáceae*

Género:..... *Lycopersicon*

Especie:..... *Lycopersicon esculentum*

II.11 Descripción botánica

La planta de tomate tiene un hábito y forma de vida de hierba delicada, generalmente de vida corta, con pelos glandulares algo pegajosos. Su tamaño es generalmente de hasta 1 m de altura, aunque a veces más alto. El tallo es erecto o recargándose para trepar, algo áspero al tacto. Sus hojas alternas, de hasta 25 cm de largo, divididas en varias hojillas de diferentes tamaños que a su vez pueden estar divididas principalmente en la base, de ápice puntiagudo y con el margen aserrado a ligeramente hendido. La inflorescencia consta de flores dispuestas en racimos cortos o alargados, a veces ramificados, ubicados generalmente en las bifurcaciones de los tallos o bien en los nudos. La flor consta de el cáliz de 5 sépalos angostamente triangulares, puntiagudos; la corola amarilla, en forma de estrella de 5 puntas (raramente más, hasta 9 principalmente en plantas cultivadas); estambres 5, las anteras con sus ápices delgados están unidas entre sí rodeando al estilo. Los frutos y semillas en fruto carnoso, jugoso, globoso o alargado, de color rojo al madurar. Las semillas numerosas, más o menos circulares, aplanadas, amarillas (Conabio, 2015).

II.12 Importancia económica del cultivo de tomate

La importancia del tomate a nivel mundial radica en la amplia diversidad de usos que tiene en la alimentación de prácticamente todos los grupos de población humana, quienes lo utilizan como componente principal de muchas comidas, para agregar o añadir sabor o para ser utilizado en fresco, en salsas, purés, pastas, jugos, etc. (Ocaña, 2004). Esta amplia demanda se debe también al amplio rango de climas y sistemas de cultivo donde puede producirse, ya que puede ser cultivado tanto en climas fríos como tropicales (Bringas, 2004).

El tomate es de los productos hortícolas de mayor importancia a nivel mundial, cuenta con niveles importantes de exportación aportando alrededor de un 35% de la producción de México al mercado de Estados Unidos (USDA, 2015). En México, el cultivo de tomate sobresale por ser una de las hortalizas que más han contribuido al desarrollo y crecimiento del sector hortícola; abastece el mercado nacional y es el producto de exportación agrícola de mayor valor comercial en el país.

Al ser una de las especies hortícolas más ampliamente cultivadas a nivel mundial, exige el dominio y/o manejo de un alto nivel tecnológico, así como el conocimiento de aspectos inherentes al crecimiento y desarrollo de la planta especialmente durante la formación de frutos; este es uno de los procesos del desarrollo más complejos de las plantas. Tanto la polinización como la fecundación dependen de factores ambientales tales como humedad y temperatura, así como de aspectos morfológicos de la flor (Picken, 1984; Ho y Hewitt, 1986).

II.13 Requerimientos ambientales del cultivo de tomate

II.13.1 Radiación solar

Las plantas de tomate tienen la capacidad de presentar una buena floración en la mayoría de las condiciones, debido a esta capacidad es que se les considera como plantas con fotoperiodo neutro. Sin embargo, existen rangos de intensidad lumínica que pueden favorecer o afectar la realización de la fotosíntesis. Son favorables condiciones entre los 555 a 1100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Bastida, 2006).

El tomate necesita de condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización, como también la maduración de los frutos pueden verse negativamente afectados. El factor que más afecta el desarrollo vegetativo, es la iluminación diaria total. El valor mínimo, para floración, así como para el cuajado, se sitúa en torno a los 990.63 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación total diaria. Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos tanto de la floración, como de la fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta (Castro *et al.*, 2014).

En los momentos críticos, durante el período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente, debe ir acorde con la temperatura; en momentos de menor iluminación, la temperatura del invernadero debe ser más baja; y en los de mayor iluminación, la temperatura debe ser más alta. Desequilibrios entre temperatura e iluminación, favorecen la aparición de racimos dobles y problemas en la polinización que conllevan o caída de flores o frutos mal cuajados (Castro *et al.*, 2014).

II.13.2 Temperatura

La temperatura es una parte importante en el desarrollo del cultivo del tomate, no es un factor que actúe de manera independiente dentro de un invernadero, sino que posee relación con otros, como lo son la luz, el calor, el CO₂, entre otros (Corrales, 2015).

El tomate es una especie de estación cálida razonablemente tolerante al calor y a la sequía y sensible a las heladas (Escalona *et al.*, 2009). La temperatura de desarrollo oscila entre 20 a 30°C durante el día y entre 13 y 17°C durante la noche (Ortiz, 2014). Se recomienda para el cultivo de tomate mantener la temperatura por debajo de los 30 °C durante el día (Bautista *et al.*, 2008).

La temperatura media mensual óptima para su desarrollo varía entre 21 y 24°C, aunque se puede producir entre los 18 y 25°C. Cuando la temperatura media mensual sobrepasa los 27°C, las plantas de tomate no prosperan. Temperaturas sobre los 30°C afectan la fructificación. Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante en la cuaja, pues debe ser suficientemente fresca (15 a 22°C). Las temperaturas inferiores a 12 - 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta y pueden provocar frutos deformes. En general, con temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula (Escalona *et al.*, 2009).

Lorenzo, (2001) menciona que cuando la temperatura desciende por debajo de los 10 - 12 °C, las especies termófilas, entre las que podemos considerar la mayoría de las hortalizas que se cultivan bajo protección, presentan las siguientes alteraciones:

- Reducción del crecimiento; especialmente de la elongación, la expansión foliar y, en consecuencia, de la radiación absorbida por el cultivo.
- Disminución de la tasa de asimilación neta.
- Cambios anatómicos y morfológicos (tendencia a desarrollar hojas más anchas y cortas, reducción de la longitud del pecíolo, aumento del grosor de la hoja y disminución del área foliar específica).
- Pérdida de fertilidad.

Las temperaturas superiores a los 35 grados centígrados impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por lo tanto, afectan el crecimiento de los frutos; las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los

25 grados centígrados o por debajo de 12 grados centígrados la fecundación no se produce. Durante la fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas (Castro *et al.*, 2014).

II.13.3 Humedad relativa

La humedad relativa óptima para el desarrollo del tomate varía entre un 60% y un 80%, con humedades superiores al 80 por ciento se incrementa la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta y puede determinar el agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización ya que el polen se apelmaza (Castro *et al.*, 2014).

Humedades relativas muy elevadas dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores; por otro lado, la humedad relativa demasiado baja menor al 60 por ciento, dificulta la fijación de los granos de polen al estigma, lo que dificulta la polinización (Escalona *et al.*, 2009).

Se recomienda que la humedad relativa sea entre 50-60 %, ya que valores superiores o inferiores afectan los diferentes procesos de desarrollo de las plantas (Corrales, 2015).

II.13.4 CO₂ y Fotosíntesis

Uno de los factores determinantes de la producción de cultivos protegidos es la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera del invernadero. El contenido de CO₂ dentro de un invernadero resulta tan importante como los demás factores climáticos que ya se han mencionado; ya que influye en conjunto con los mismos sobre el comportamiento de la planta (Corrales, 2015).

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas verdes y otros organismos convierten luz en energía química y luego en carbohidratos tales como el azúcar. La fotosíntesis se realiza con máxima intensidad entre la longitud de onda 440 y 680 nm, en la mayor parte de la radiación visible. Si están satisfechos otros requerimientos de las plantas (agua, CO₂, temperatura, nutrientes, etc.) la cantidad de materia orgánica formada para llevar a cabo la fotosíntesis

dependerá de la luz fotosintéticamente activa que reciba la planta. Así, a mayor cantidad de luz más cosecha, hasta un límite que dependerá de la especie y la variedad (López, 1998).

Matthews, (2004) menciona que la fotosíntesis es un proceso de baja eficiencia en la utilización de la energía solar, ya que sólo emplea una mínima parte (1-2%) de la radiación absorbida y la almacena en los enlaces químicos de los carbohidratos. Esta eficiencia de la fotosíntesis depende de factores genéticos (tipo de metabolismo que tienen) y los factores ambientales, por ejemplo, la luz va a condicionar la velocidad de fotosíntesis; la temperatura, disponibilidad de CO₂, y disponibilidad de nutrientes también son factores ambientales.

Con carácter general la tasa fotosintética depende básicamente de las condiciones de temperatura y de la intensidad lumínica, hasta un máximo, a partir del cual la tasa fotosintética disminuye por fotoinhibición (Quero *et al.*, 2004).

II.14 Análisis de crecimiento

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas; este análisis es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, 2003). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen en el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el tiempo.

Este tipo de análisis trata de explicar matemáticamente las variaciones en materia seca y área foliar de los organismos en función del tiempo, por lo que para realizarlo se requiere obtener el peso seco de la planta o de cada uno de sus órganos y del área foliar, en intervalos de tiempo durante el desarrollo del vegetal.

Las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo, la elaboración de estas curvas de crecimiento permite conocer el modo en que crece la fruta con respecto al tiempo (Casierra-Posada *et al.*, 2007).

II.15 Índices de crecimiento

El crecimiento vegetal se puede analizar matemáticamente mediante el cálculo de índices de crecimiento, estos índices permiten analizar el desarrollo de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste. Con estas medidas es posible calcular la tasa de asimilación neta (TAN), la relación de área foliar (RAF), el índice de área foliar (IAF) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) (Hunt, 1978).

Por lo tanto los índices de crecimiento tienen un significado biológico ya que son una herramienta que permiten conocer y evaluar el comportamiento de los cultivos cuando se someten a diferentes condiciones de crecimiento, demostrando si un ambiente particular o práctica de manejo es o no conveniente para una especie.

II.15.1 Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta se refiere a la ganancia en peso seco por unidad de área foliar por unidad de tiempo, expresada en $\text{g.m}^2.\text{día}^{-1}$ (Hunt, 1982), y es una medida indirecta de la fotosíntesis. La TAN disminuye al avanzar la morfogénesis del cultivo y esto se debe al sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores, a la disminución de la capacidad fotosintética de las últimas hojas formadas y a los efectos de los lugares de demanda sobre la fotosíntesis.

El incremento de la biomasa en cualquier intervalo de tiempo es la integral del producto de la asimilación neta y el área foliar, por lo que tal incremento puede ser completamente descrito en función de los cambios de esos dos atributos; la TAN, que mide la intensidad de la asimilación de carbono, y el área foliar que es una medida del tamaño del sistema de asimilación (Mora, 1998).

II.15.2 Índice de área foliar (IAF)

Dado que la tasa de asimilación neta proporciona una adecuada estimación de la eficiencia de las hojas de un cultivo como productoras de materia seca, entonces el conocer la cantidad de hojas

del cultivo es necesario para evaluar su rendimiento. El área foliar por planta es una medida inapropiada del follaje de todo un cultivo, ya que no toma en cuenta el espaciamiento entre plantas, un factor que debe estar involucrado en la estimación de la cantidad de hojas de todo un cultivo. Por lo cual se introdujo el concepto de índice de área foliar (IAF), definido como el área foliar por unidad de área de suelo (Hunt, 1978).

La composición del dosel, en términos del número, tamaño y edad de las hojas individuales, posiblemente afecta la relación que existe entre el IAF y la radiación total interceptada y, consecuentemente, la producción y productividad de las especies cultivadas (Mora, 1998).

II.15.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La TCC de una especie está relacionada estrechamente a la intercepción de radiación solar, esta es simple, pero importante índice de productividad en la agricultura, que representa la tasa de producción de biomasa por unidad área de suelo en un periodo determinado; este parámetro se origina del producto de la eficiencia de las hojas (TAN) por el índice de área foliar del cultivo (IAF) y los valores que alcanza dependen de la magnitud relativa de sus componentes (Hunt, 1978).

La TCC aumenta a partir de la emergencia para disminuir después de alcanzar el máximo valor, debido probablemente al auto sombreado de las hojas que a otros factores (Oliveira, 2000). Los máximos valores de este índice dependen de la eficiencia fotosintética y del tamaño y duración del área foliar; casi al finalizar el ciclo biológico, pueden ser negativos porque el nuevo crecimiento es inferior a la senescencia de las hojas inferiores de la planta (Milthorpe y Moorby, 1982, citado por Mora-Aguilar *et al.*, 2006).

II.15.4 Relación de área foliar (RAF)

RAF que es definida como la relación entre el área foliar total y el peso seco total; es un indicador del tamaño del aparato fotosintético de la planta.

II.15.5 Relación de peso foliar (RPF)

La relación de peso foliar, es la relación que existe entre biomasa de la hoja con respecto a la biomasa de toda la planta, o puede decirse que es una medida del reparto de la biomasa de la hoja contra la otra parte de la planta. La RPF es alta en las primeras semanas del crecimiento, donde el valor se mantiene constante alrededor de 0.63 gramos de hojas por gramos de peso seco total, es decir que el 63% de peso total de la planta está integrado por las hojas (Ramírez, 2012).

II.15.6 Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica, razón entre el área de la hoja y su peso seco. Ramírez, (2012) explica que es un componente morfológico porque es determinado por la concentración de materia seca y el grosor de la hoja, así entre mayor sea el AFE menor será el grosor de la hoja y viceversa. Especies con AFE menor generalmente tienen hojas más gruesas y/o más densas, también se han encontrado correlaciones positivas entre el AFE y la capacidad fotosintética máxima, esto refleja el compromiso entre la eficiencia de captación de luz y fijación de carbono versus la persistencia en el tiempo de la planta y por ende la capacidad de resistir daños físicos (Baeza, 2002).

II.15.7 Índice de eficiencia de crecimiento del fruto (IECfr)

Expresa la acumulación de biomasa en el componente fruto, con respecto al área foliar presente a través del tiempo. El conocimiento sobre cómo mantener el balance entre la fuente (área foliar) y demanda (frutos) con la distribución de la biomasa en los diferentes órganos de la planta, especialmente hacia el fruto, ha sido uno de los principales factores considerados para incrementar los rendimientos en variedades de *Lycopersicon esculentum* Mill.

II.15.8 Coeficientes de partición de biomasa (CPB)

Los coeficientes de partición de biomasa son la razón de una parte de la planta entre el total de la misma. Cuando expresamos el crecimiento de una planta o cultivo como acumulación de materia seca, la proporción del crecimiento total del cultivo que corresponde a una determinada parte (hojas, tallos, raíces, frutos, semillas, etc.) es lo que llamamos partición de la materia seca

(Dogliotti *et al.*, 2011). La distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente-sumidero.

La distribución de materia seca puede cambiar durante el desarrollo de un cultivo, debido a cambios en la potencia de sumidero de un órgano individual y a alteraciones del número de sumideros creciendo en la planta. El genotipo, la etapa de desarrollo de la planta, las condiciones ambientales para el crecimiento y la regulación interna de la planta también pueden afectar la partición de la masa seca.

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se ha estado estudiando la respuesta del bloqueo de la radiación PAR por medio de modificar las propiedades ópticas de los plásticos en la temporada de verano; sin embargo, en muchas regiones los cultivos no solo son de verano sino que pasan a la temporada invernal para incrementar los rendimientos y su productividad. En las regiones de bajas temperaturas es difícil mantener el ciclo de producción en la temporada de invierno, ya que los niveles radiativos decrecen y se requiere del estudio de la respuesta de los cultivos bajo condiciones de radiación limitada, objeto del presente estudio.

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta sobre el desarrollo y rendimiento del tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de la Radiación PAR, producido por diferentes películas plásticas para invernadero durante la época invernal.

IV.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la respuesta del cultivo a los diferentes niveles de radiación fotosintética generados en cada tratamiento.
2. Determinar el efecto del bloqueo de radiación sobre los índices de crecimiento y sobre el rendimiento del cultivo de tomate.
3. Evaluar la respuesta al microclima generado en cada tratamiento y su efecto en el rendimiento.

V. HIPÓTESIS

La radiación PAR limitada de las cinco cubiertas, no restringirán los niveles fotosintéticos del cultivo y por lo tanto no habrá diferencias sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del tomate.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

VI.1 Localización Geográfica del Sitio Experimental

El estudio se llevó a cabo en el invierno 2014 - 2015, en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado en Saltillo, Estado de Coahuila, a $25^{\circ} 27' N$, $101^{\circ} 02' O$ con una altitud de 1520 msnm.



Figura 1. Ubicación del campo experimental (Rojas, 2015).

VI.2 Establecimiento del experimento

VI.2.1 Especificaciones de los túneles

El experimento se realizó en cinco túneles con dimensiones de 5 m de largo por 2 m de ancho y 2.5 m de alto, cada túnel cubierto con diferentes películas plásticas, las cuales bloqueaban el 25%, 35%, 50%, 60% y 75% de radiación.

VI.2.2 Tratamientos

Las películas a evaluar se distribuyeron en cinco tratamientos con cuatro repeticiones, las cuales consistieron en tres películas comerciales de la empresa Ginegar y dos películas elaboradas en CIQA, quedando de la siguiente manera: T1:25% (Película Ginegar 43), T2:35% (Película

Ginegar 02), T3:50% (Película Ginegar combinación de la 02 y 43), T4:60% (Película Formulada en CIQA (Prot-05)) y T5:75% (Película Formulada en CIQA (Prot-06)). A continuación en el (Cuadro 1) se describen las características de las películas evaluadas.

Cuadro 1. Descripción de las propiedades de las películas a evaluar, análisis realizado en CIQA.

	25%	35%	50%	60%	75%
	Ginegars 43	Ginegars 02	Ginegars combinado	Prot-05	Prot-06
UV %	8.7			0.1	0.4
TOT %	81.7			51.7	42.2
PAR %	68.2	60	48-50	38.2	29.2
DIFUSA %	62.8	15		91	91
NIR TRANS %	71			24	22
LIR TRANS %	46.1	80		34	34

VI.2.3 Híbrido

Se utilizaron plántulas de tomate (*Lycopersicon. esculentum* Mill.) tipo bola variedad híbrido Yigido, de la casa comercial Seminis ®, el cual es de crecimiento indeterminado. Esta variedad es de frutos redondos, levemente acostillados, de calibres grandes 230 - 250 gr., con una coloración de rojo intenso, uniforme en su maduración y buen comportamiento ante el rajado (Seminis, 2015).

VI.2.4 Trasplante

El trasplante se efectuó el día 17 de Octubre cuando las plántulas alcanzaron una altura de 15 a 20 cm y formaron de cuatro a seis hojas verdaderas. Se utilizó un sistema de suelo cubierto con acolchado plástico blanco-negro de 1.20 m de ancho y 5.6 m de largo.

VI.2.5 Manejo agronómico del cultivo

Los riegos se aplicaron frecuentemente de manera manual de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo desde el trasplante hasta el término de la cosecha, y se realizaron ajustes conforme a

las variaciones que se derivaron del estado del tiempo y la etapa de desarrollo del cultivo. Además se aplicaron los productos químicos necesarios en la etapa de trasplante para evitar problemas fitosanitarios. Una semana después del trasplante de las plántulas y hasta su desarrollo, se utilizó una solución nutritiva; los nutrientes proporcionados fueron distribuidos en función de la etapa de desarrollo del cultivo y las necesidades nutricionales del mismo.

El tutoreo se realizó mediante hilo (rafia), y la poda se realizó con el fin de evitar el crecimiento de tallos secundarios, la planta se manejó a un solo tallo con el fin de obtener una buena calidad en los frutos de tomate. Finalmente la polinización se realizó mecánicamente moviendo las plantas.

VI.3 Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un diseño completamente al azar (CA) con 5 tratamientos y con 4 repeticiones, dando un total de 20 unidades experimentales. Los datos fueron analizados usando el programa XLSTAT 2014.

VI.4 Variables a evaluar

VI.4.1 Temperatura y humedad relativa

Durante el desarrollo del experimento para el registro de la temperatura y humedad relativa se instalaron sensores marca HOBO® (Onset Computer Corporation) y se programaron para la toma de datos cada 10 minutos y se promediaron cada hora, los datos fueron descargados y analizados con el programa HOBOware® Pro versión 2.7.3.

VI.4.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

Se calculó la PAR utilizando sensores tipo quantum tanto para el interior de los tratamientos como para el exterior, todos los sensores fueron conectados a un datalogger, el cual se programó para tomar datos cada 10 minutos y medias de cada hora durante las 24 horas del día y durante el tiempo que duró el estudio; los datos de las diferentes radiaciones se almacenarán en la memoria del equipo y posteriormente se recuperarán utilizando una computadora portátil para luego ser analizados.

VI.4.3 Variables morfológicas

Para observar el desarrollo y comportamiento de las plantas se consideraron las siguientes variables enlistadas:

- Altura de planta
- Diámetro de tallo
- Distancia de entrenudos
- Número de flores
- Número de frutos
- Abortos
- Viabilidad de polen

Para el análisis de polen se siguió la metodología descrita por (Ramírez-Godina *et al.*, 2013), la cual se realizó a los 120 días después del trasplante (ddt), previa a la antesis, fue estimada en los cinco tratamientos y sus cuatro repeticiones colectando tres flores por planta entre 8:00 y 9:30 de la mañana, se colocaron en bolsas de papel estraza y se llevaron al laboratorio para su análisis.

VI.4.4 Peso seco de planta

El peso seco por planta fue determinado después de secar las muestras en una estufa de aire caliente a 70°C durante 72 horas hasta obtener un peso seco constante para posteriormente ser pesadas en una báscula digital. Las plantas fueron separadas en hoja, tallos, peciolo, flores y frutos, con la suma de las masas se obtendrá la masa seca por planta.

VI.4.5 Área Foliar

Como indicadores de crecimiento se determinaron en cada tratamiento área foliar empleando un (LI-3100, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.). La determinación del área foliar consistió en defoliar una planta de cada unidad experimental, lo cual se realizó a los 62, 94, 138 y 198 ddt.

VI.4.6 Análisis de crecimiento

El crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas (Hunt, 1990). Clavijo, (1989) menciona que es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de

una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. Las curvas de crecimiento son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo. Para estimar los índices de crecimiento, es necesario obtener el peso seco de plantas y órganos y el área foliar, en intervalos de tiempo durante el desarrollo del vegetal; con estas medidas es posible calcular los siguientes índices de crecimiento:

- Tasa de Asimilación Neta (TAN)
- Índice de Área Foliar (IAF)
- Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)
- Relación de área foliar (RAF)
- Relación de peso foliar (RPF)
- Área Foliar Específica (AFE)
- Índice de eficiencia de crecimiento del fruto (IECfr)

Adicionalmente con los pesos secos se calcularon los coeficientes de partición de biomasa para tallo, hoja, flor y fruto, según formulas descritas por (De la Rosa, 2015) (Cuadro 3).

Todas las variables de índices de crecimiento se evaluaron en cuatro fechas diferentes y son calculadas a partir de las formulas según (Hunt, 1978) (Cuadro2); para las variables de RPF, AFE e IECFr, se emplearon las formulas según (De la Rosa, 2015) (Cuadro 3).

Cuadro 2. Sinopsis de fórmulas y unidades para índices de crecimiento en vegetales. Tomado de Plant Growth Analysis (Hunt, 1978).

Índices de Crecimiento	Nombre	Fórmulas Valor Instantáneo	Fórmulas para Valor Medio	Unidades
Tasa de Asimilación Neta	TAN	$\frac{1}{AF} * \frac{dW}{dT}$	$\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} * \frac{LN AF_2 - LN AF_1}{AF_2 - AF_1}$	Peso*Área ⁻¹ *Tiempo ⁻¹
Índice de Área Foliar	IAF	$\frac{AF}{As}$	$\frac{AF_2 - AF_1}{As}$	Adimensional
Relación de Área Foliar	RAF	$\frac{AF}{W}$	$\frac{(AF_1 / W_1) + (AF_2 / W_2)}{2}$	Área*Peso ⁻¹
Tasa de Crecimiento del Cultivo	TCC	$\frac{1}{As} * \frac{dW}{dT}$	$\frac{1}{As} * \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$	Peso*Área ⁻¹ *Tiempo ⁻¹

Símbolos Utilizados: W = Peso Seco Total; T = Tiempo; AF = Área Foliar; As = Área de Suelo; WF = Peso Seco Foliar; LN = Logaritmo Natural. d = derivada

Cuadro 3. Fórmulas y unidades para índices de crecimiento y coeficientes de partición de biomasa en vegetales. Empleadas por (De la Rosa, 2015).

Índice de crecimiento	Nombre	Fórmula para valor medio	Unidades
Relación de Peso Foliar	RPF	$((PSh_1 / PS_1) + (PSh_2 / PS_2)) / 2$	g.g
Área Foliar Especifica	AFE	$((AF_1 / PSh_1) + (AF_2 / PSh_2)) / 2$	cm ² .g
Índice de Eficiencia de Crecimiento de Fruto	IECfr	$((PSfr_2 - PSfr_1) / (t_2 - t_1)) \bullet ((\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1))$	g.cm ⁻² .día ⁻¹
Coeficiente de partición de biomasa	Nombre	Fórmula para valor medio	Unidades
Coeficiente de partición de biomasa de hoja	CPBh	PSh/PS	adimensional
Coeficiente de partición de biomasa de tallo	CPBt	PSt/PS	adimensional
Coeficiente de partición de biomasa de flor	CPBflor	PSflor/PS	adimensional
Coeficiente de partición de biomasa de Fruto	CPBfr	PSfr/PS	adimensional

Símbolos utilizados: PSh = Peso seco de hoja; PS = Peso seco total; AF = Área foliar; PSfr = Peso seco de fruto; t = Tiempo; ln = Logaritmo natural; PSt =Peso seco de tallo; PSflor = Peso seco de flor.

VI.4.7 Fotosíntesis

La fotosíntesis, de manera semejante a otros procesos fisiológicos, es influenciada por factores de diversa índole, algunos dependientes de la propia planta y otros del medio en el cual se desarrollan. Se midió una planta por unidad experimental y a su vez una hoja de la parte recientemente madura, empleando un sistema portátil de fotosíntesis LICOR modelo LI-6400XT.

VI.4.8 Calidad de los frutos

Para analizar la calidad de los frutos, estos se contaron, pesaron y clasificaron de acuerdo a las especificaciones de la marca México Calidad Suprema, para tomate tipo bola. Las mediciones se hicieron de acuerdo a la maduración de los frutos, utilizando una báscula digital y un vernier digital.

VI.4.9 Rendimiento por planta

Para registrar los rendimientos obtenidos durante el periodo de evaluación, se contabilizó el rendimiento total comercial y no comercial en kg planta⁻¹, para el rendimiento comercial se

consideraron los frutos que cumplieran con las especificaciones de la marca México Calidad Suprema, para tomate tipo bola; así mismo para el caso del rendimiento no comercial se tomaron en cuenta aquellos frutos cosechados de diámetro inferior a los 54mm. También se realizó una estimación del rendimiento comercial en Ton ha⁻¹, dichos datos fueron el resultado de seis cortes.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)

Se registró la radiación PAR exterior e interior de los túneles bajo diferentes cubiertas plásticas para invernadero, los datos se obtuvieron de sensores tipo quantum y se graficaron a partir de los 45 ddt (01 de Diciembre 2014) hasta los 184 ddt (19 de abril 2015) como se muestra en la figura 2. Se observa como al inicio del ciclo la radiación no es muy alta en el interior de los túneles, esto debido a la época del año en la cual la incidencia de radiación es menor. Especialmente en los meses de otoño e invierno, la radiación es un recurso limitante para la producción pues, aunque hay días soleados, estos no son lo suficientemente largos (horas de sol limitadas) y la intensidad con la que llega la radiación en estas épocas está por debajo de las exigencias de los cultivos hortícolas usuales (Bermúdez *et al.*, 2001).

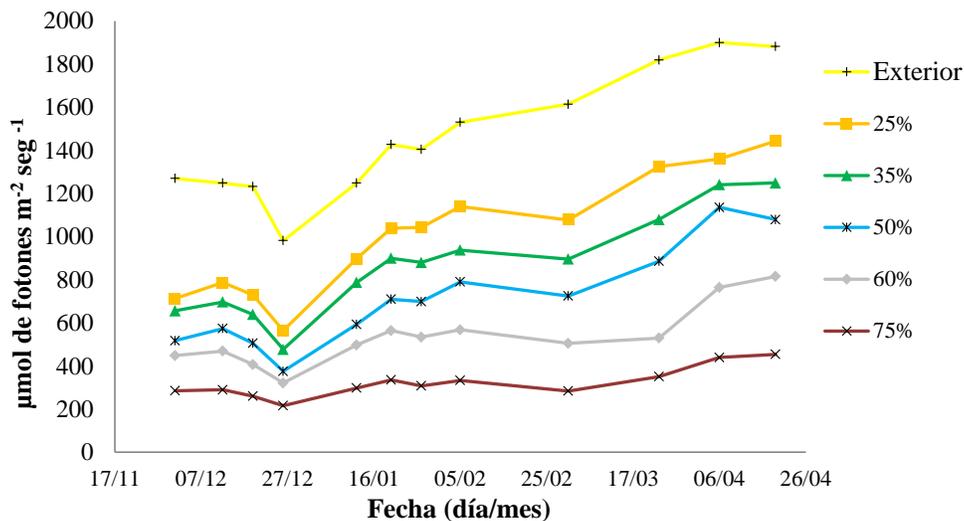


Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) registrada al exterior e interior de túneles. (01/12/2014 al 19/04/2015).

A medida que transcurre la época de invierno, se observa en la figura 2 como la incidencia de radiación cambia, en el exterior dicha radiación va en orden creciente; el mismo comportamiento se observa al interior de todos los túneles. El crecimiento de la planta y la formación de frutos tienen una estrecha relación con el aprovechamiento lumínico. Así, una reducción de la

intensidad lumínica afecta sobre todo la inducción del botón floral, su diferenciación, el cuajado, tamaño, color y la calidad de los frutos y en menor grado el crecimiento (Dussi, 2007).

Tomando en cuenta los valores de PAR promedio de los máximos del ciclo, se puede verificar que todas las películas evaluadas mantuvieron los bloqueos de radiación propios de cada una de ellas, como se observa en la figura 3. Siendo de esta manera respecto al exterior el tratamiento con 25% de bloqueo quien permitió el mayor paso de la PAR con $1010 \mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{seg}^{-1}$, seguido de los tratamientos 35%, 50%, 60% y 75%, con 870, 716, 535 y $321 \mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ respectivamente; estos valores no corresponden a los bloqueos descritos por las películas, con variaciones altas en los tratamientos 25% y 35% con un 6 y 5.5% más de bloqueo al original y variaciones mínimas para las películas 50%, 60% y 75% con el 1.1, 3.4 y 3 % respectivamente.

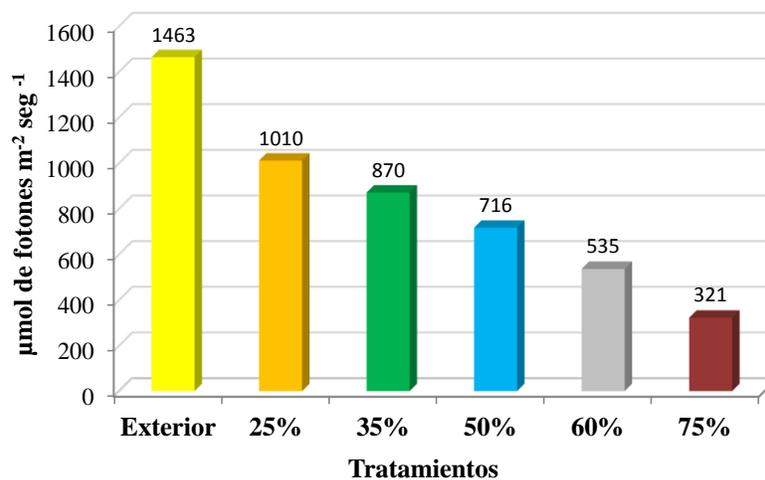


Figura 3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) registrada al exterior e interior de túneles; datos correspondientes al promedio de los máximos del ciclo evaluado.

Las variaciones en los bloqueos de radiación anteriormente descritas, pudo deberse a varias causas, como la acumulación de polvo sobre la película o el sensor, sombras o días nublados. En un experimento en mallas Ayala-Tafoya *et al.*, (2011) encontraron que las mallas NE50 y AL50 fueron más eficaces para reducir la PAR ya que sombrearon un 55.3 a 63.7%, mientras que las mallas , GR50 y PE50 transmitieron 0.8 y 4.5% por arriba de la PAR prevista (50%). Tal variación entre el porcentaje de sombra de las mallas encontrada en aquel estudio con respecto a

la especificación dada por el fabricante (50%), coinciden con los resultados obtenidos en la presente investigación.

VII.2 Temperatura

El tomate es una planta sensible a cambios extremos de temperaturas y/o humedades, siendo necesario mantener estas últimas dentro del rango óptimo para el desarrollo del cultivo (Noreña *et al.*, 2013a). Los resultados obtenidos durante el experimento (Figura 4), muestran que durante el ciclo el tratamiento con 75% de bloqueo, fue la película que registró la menor temperatura respecto al resto de las evaluadas con temperaturas mínimas de 9.2°C y máxima de 21.6 °C; mientras el tratamiento del 50%, mantuvo temperaturas mínimas de 10.1°C y 25.8°C. Rajlin, (2004) señala que cuando bajan las temperaturas nocturnas, los racimos tienden a bifurcarse, produciendo más números de frutos de menor tamaño. Con temperaturas mínimas entre 8 y 12 °C los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen y son afectados adversamente, así como la fecundación es defectuosa o nula.(Noreña *et al.*, 2013a; Castro *et al.*, 2014; Caldari, 2007)

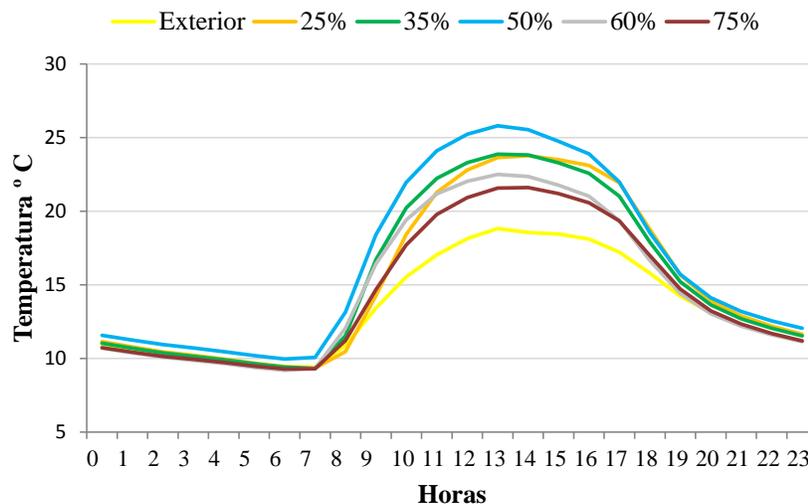


Figura 4. Comportamiento de la temperatura exterior e interior de los túneles bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR, promedio del ciclo (29/11/2014 al 24/04/2015).

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 15 y 17 °C durante la noche (Caldari, 2007). Las películas con radiación del 35% y 50% permiten mantener temperaturas óptimas durante el día entre 20.2 a 23.9 °C y 22 a 25.8 °C respectivamente, sin embargo durante la noche, todas las películas disminuyen su temperatura por debajo del mínimo requerido para el crecimiento, excepto el tratamiento con 50% de bloqueo, quien mantuvo temperaturas entre 10.1 y 18.4 °C.

VII.3 Humedad relativa

Zeidan, (2005) menciona que la humedad relativa (H.R.) óptima para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 50% y un 65% para su crecimiento y fertilidad. En la figura 5, se puede observar cómo se comportó la H.R. durante el ciclo donde a diferencia del resto de tratamientos las películas bajo 25% y 75%, presentaron una baja H.R., pero a la vez siendo óptima para el cultivo de tomate, esto indica que el tratamiento con 25% de bloqueo, al permitir mayor paso de radiación provoca una disminución de H.R. al interior de los túneles; en cambio en el tratamiento con 75%, parece mantener una H.R. baja y constante a lo largo del ciclo, esto a causa del alto bloqueo de PAR, quien no permite que existan variaciones en la H.R..

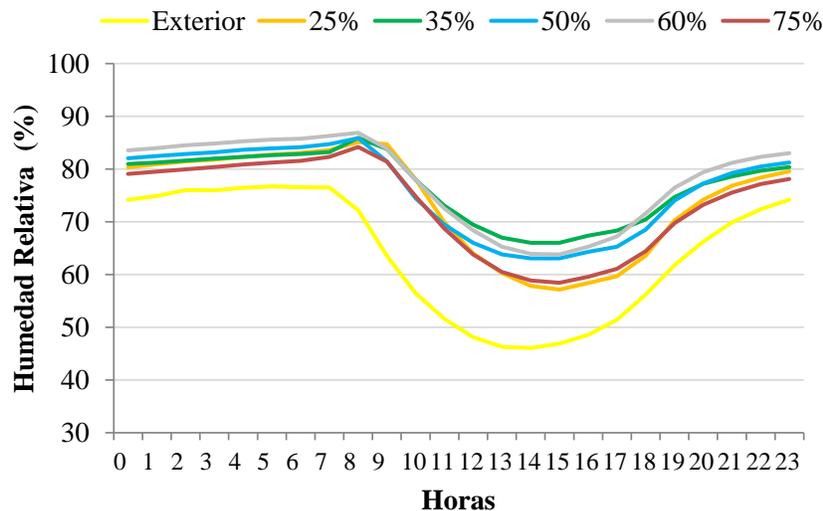


Figura 5. Comportamiento de la humedad relativa promedio del ciclo exterior e interior de los túneles bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR (29/11/2014 al 24/04/2015).

Cabe señalar que la máxima H.R. oscilo entre un 82 y 87% en los tratamientos, no habiendo mucha diferencia entre ellos. La humedad relativa es más alta dentro de una construcción por la falta de aireación (Noreña *et al.*, 2013c).

Cuando la humedad relativa es baja y la temperatura es alta, se debe ventilar para facilitar la circulación del aire, pues se produce una mayor tasa de transpiración pudiendo causar estrés hídrico, mayor actividad radicular y cierre estomático reduciendo la actividad fotosintética de la planta y disminuyendo la absorción de agua y nutrientes (Noreña *et al.*, 2013a).

VII.4 Variables morfológicas

VII.4.1 Altura de planta

Los resultados de análisis de varianza para la variable altura de planta, mostraron diferencias significativas en todas las fechas evaluadas (Figura 6). De acuerdo a estos resultados la altura de planta se incrementó gradualmente desde el primer muestreo en todos los tratamientos. Este crecimiento gradual concuerda con un experimento en tomate bajo cubiertas de invernadero (Samaniego *et al.*, 2002). Analizando el último dato del mes de abril, se observa como las plantas bajo una película cuyo bloqueo de radiación es del 75% llegaron a tener una altura máxima de 260 cm, siendo un 22 % más chica que las plantas del tratamiento 50%, cuya altura máxima fue de 334 cm, habiendo diferencias estadísticas significativas entre ellas. Esto coincide con lo reportado por Guzmán, (2000) en el que valores reducidos de iluminación pueden inducir de forma negativa sobre el desarrollo vegetativo de la planta de tomate, así como en los procesos de floración y fecundación.

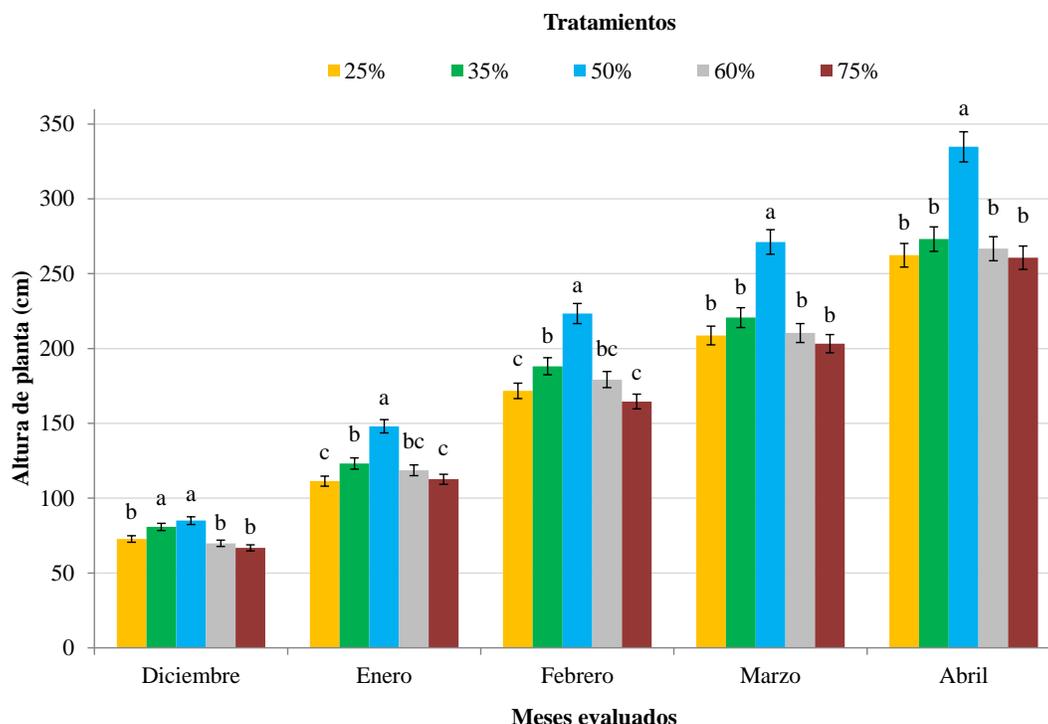


Figura 6. Altura de planta registrada mensualmente, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.

En el mes de abril al haber mayor incidencia de radiación se observa como los tratamientos 25%, 35%, 60% y 75%, llegan casi a igualar su altura de planta no habiendo diferencias estadísticas significativas entre ellas. Siendo el tratamiento del 50%, el único que mantiene diferencias estadísticas con el resto de los tratamientos, al mantener su crecimiento gradual gracias a una mayor temperatura y valores de H.R. óptimos. Esta respuesta coincide con lo descrito por Peña, (2003) donde afirma que la altura de planta fue debido a que en el invernadero se presentaron las temperaturas más altas.

VII.4.2 Diámetro de tallo

Las plantas se adaptan a las condiciones de radiación solar durante su desarrollo, por lo tanto se evaluó el desarrollo de diámetros de tallos de las plantas, en las mismas fechas que la variable altura de plantas, con un total de 5 evaluaciones. Los resultados de análisis de varianza muestran que durante el mes de diciembre solo existieron diferencias significativas entre el tratamiento con

75% de bloqueo y el resto de los tratamientos (figura 7), pudiendo ser por la baja radiación de la película y las bajas temperaturas.

También se puede observar que durante enero y febrero tanto el tratamiento con 25% de bloqueo como el tratamiento con el 75% muestran un rezago en el engrosamiento del tallo, en comparación con los demás tratamientos; este patrón sugiere que permitir un mayor paso de luz 75% y bloquear el mismo porcentaje de radiación, afectan negativamente al crecimiento de este. Estos resultados difieren un poco de Larcher, (2003) quien dice que aquellas plantas que se desarrollan con alta iluminación forman ejes y ramificaciones más vigorosos.

En esta investigación durante los meses de marzo y abril se observan diferencias estadísticas significativas para las películas bajo los tratamientos 25% y 35% con un mayor engrosamiento de tallo y para los tratamientos con 50%, 60% y 75% de bloqueo, hay un adelgazamiento de este, dicho comportamiento puede deberse a la carga de frutos presentes en la planta, asignando la mayor cantidad de asimilados hacia los frutos y dejando una menor cantidad disponible para los tallos, causando un adelgazamiento de este.

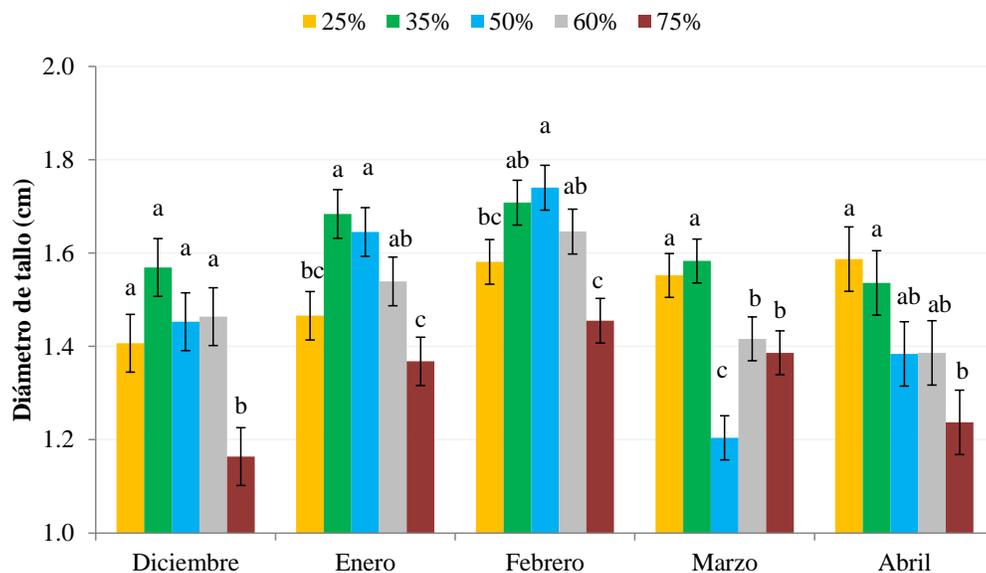


Figura 7. Diámetro de tallo en cuatro fechas diferentes, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.

Ayala-Tafoya *et al.*, (2011) reportaron que el diámetro de los tallos de tomate incrementa a causa de mayores cantidades de radiación fotosintéticamente activa o viceversa. Esto coincide únicamente en los meses de Marzo y Abril donde las películas con mayor paso de radiación, presentaron un mayor diámetro de tallo; el tratamiento 75%, provoca en la planta tallos delgados en todas las fechas evaluadas.

VII.4.3 Longitud de nudos

Se evaluó el comportamiento de la longitud de nudos en tres fechas, después de realizar el análisis de varianza y graficar se observó que existe diferencia significativa entre el tratamiento con 50%, al presentar la mayor longitud de nudos durante el periodo de evaluación (Figura 8), esto pudo deberse a que la película acumuló la mayor temperatura y propicio un buen crecimiento de las plantas, a pesar de bloquear el 50 % de la radiación.

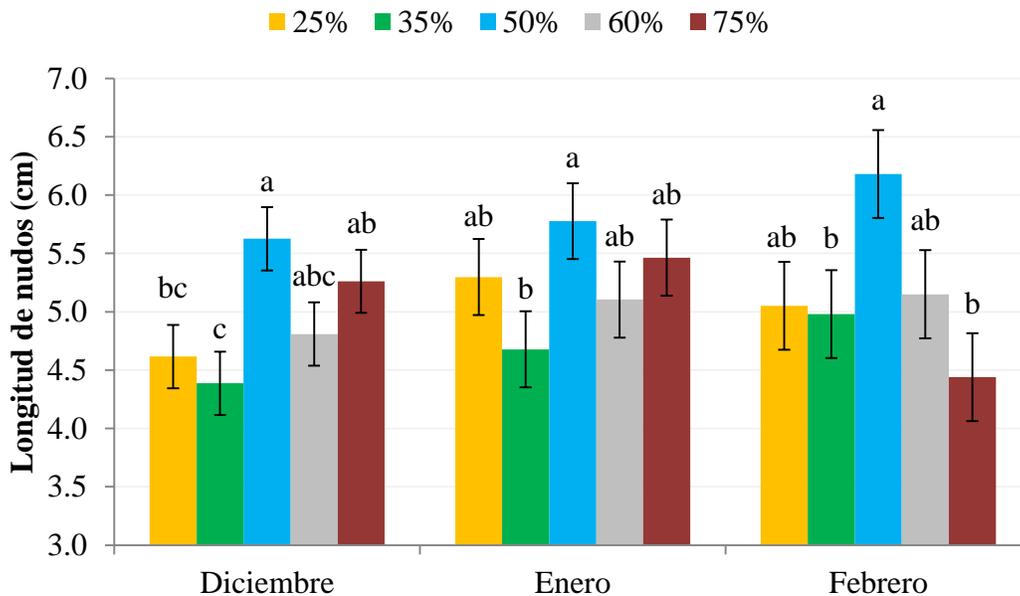


Figura 8. Longitud de nudos mensual, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.

A lo largo del ciclo se observaron fluctuaciones en el crecimiento y la longitud de nudos en todos los tratamientos (Figura 8), una causa probable puede ser que el nivel de luz requerida por el cultivo dependerá de la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta y de las condiciones ambientales, principalmente la temperatura. Un cultivo cuya temperatura está por debajo del mínimo requerido (17 a 19°C), tiende a acortar sus entrenudos (hortalizas.com, 2015).

VII.4.4 Número de flores por racimo

Se llevó a cabo un conteo del número de flores producidas por racimo para cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones, dando resultados no significativos para los racimos 1, 2, 7, 8 y 9, mientras tanto se puede observar en el cuadro 4, diferencias significativas para el tercer y cuarto racimo, siendo el tratamiento del 35% quien produjo menos flores, en promedio 3.8 y 3.6 por racimo, sin embargo el tratamiento del 60% produjo más flores llegando a 8.4 y 10.8 en promedio para dichos racimos. Estos resultados difieren de lo dicho por Fornaris, (2007) que la floración tiende a acelerarse en muchos cultivares por el efecto de una intensidad lumínica alta, mientras que una intensidad lumínica baja, limita el crecimiento vegetativo y puede retardar la floración.

Cuadro 4. Promedio de número de flores por racimo de tomate en la época de invierno, efecto causado por el bloqueo de radiación PAR en túneles.

Tratamientos	Número de racimo floral								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
25%	6.9 ^a	6.4 ^a	5.9 ^{ab}	9.8 ^a	7.3 ^{ab}	7.9 ^{ab}	10.0 ^a	10.6 ^a	11.0 ^a
35%	6.3 ^a	6.0 ^a	3.8 ^b	3.6 ^b	6.3 ^{ab}	6.0 ^b	6.0 ^a	7.9 ^a	6.3 ^a
50%	5.5 ^a	6.1 ^a	8.0 ^{ab}	7.5 ^{ab}	6.0 ^{ab}	6.0 ^b	6.6 ^a	8.0 ^a	7.6 ^a
60%	6.4 ^a	5.6 ^a	8.4 ^a	10.8 ^a	9.0 ^a	11.4 ^a	9.3 ^a	10.3 ^a	8.4 ^a
75%	5.5 ^a	4.9 ^a	5.9 ^{ab}	7.3 ^{ab}	5.6 ^b	9.1 ^{ab}	8.3 ^a	7.4 ^a	6.5 ^a

Los resultados obtenidos para el caso del racimo cinco y seis difieren de los dicho por Caldari, (2007) quién menciona que valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta.

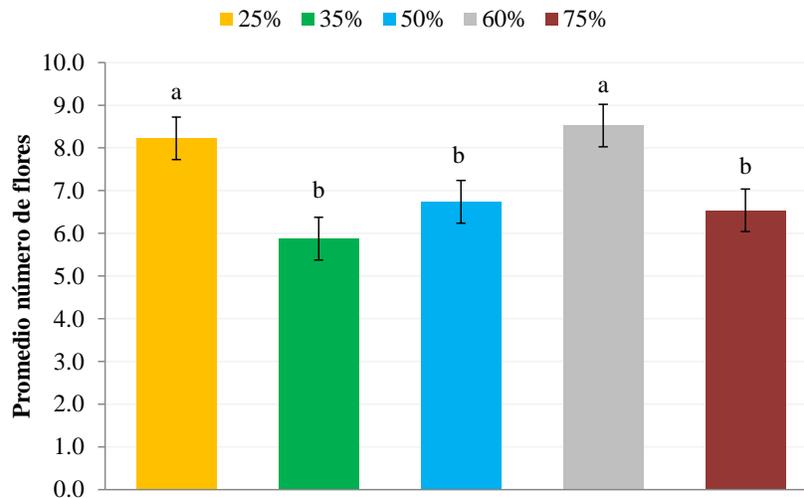


Figura 9. Promedio de flores producidas por tratamiento de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR.

En la figura 9, se pueden observar diferencias significativas en cuanto a la producción promedio de flores por tratamiento, donde los tratamientos 35%, 50% y 75% mantuvieron una producción similar y no hubo diferencias estadísticas entre ellos; mientras tanto los tratamientos 25% y 60% fueron superiores al producir aproximadamente dos flores más que el resto de los tratamientos, pero estadísticamente iguales, asumiendo que una mayor radiación no significa una mayor producción de flores, ya que el tratamiento del 60% al tener una transmisión del 40% de la radiación produjo en promedio el mismo número de flores que la película con mayor paso de luz.

VII.4.5 Promedio de número de flores, frutos y abortos totales

Para la cantidad total de flores que se produjeron durante el periodo de evaluación, podemos ver en la figura 10, como el tratamiento 60% y 25% fueron estadísticamente superiores con 158 y 151 flores respectivamente, ambos tratamientos son muy similares en cuanto al comportamiento presentando un 41% y 48% de frutos respectivamente. Sin embargo el tratamiento 60% presenta condiciones de baja iluminación y estos resultados difieren de lo dicho por Larcher, (2003) quién

menciona que aquellas plantas que se desarrollan con alta iluminación tienen una mayor fertilidad (floración, cuajado y rendimiento de frutos), en comparación con plantas adaptadas a condiciones de baja luz.

En cuanto al tratamiento 75%, se observa una producción de flores muy similar al tratamiento 50% siendo estadísticamente iguales, concluyendo que a mayor sombreo no afecta la producción de flores; sin embargo sí afecta la producción de frutos, ya que del 100% de flores solo el 40% se convierten en frutos, pudiendo deberse a la modificación del microclima que tuvo la película ya que en todo el ciclo fue la película más fría con temperatura mínima de 9.3 y máxima de 21.6°C.

Fornaris, (2007) menciona que condiciones climatológicas de alta humedad, con baja incidencia de luz solar y altas temperaturas nocturnas, resultan en un crecimiento vegetativo excesivo a expensas de una reducción en la fructificación; esto coincide con el tratamiento 75% ya que presentó alta humedad relativa y baja iluminación (25%), así mismo fue el tratamiento de menor producción de frutos.

En cuanto al comportamiento del tratamiento 35%, fue la película que produjo menos flores con 104 representando un 34.5 % menos que el tratamiento del 60%, sin embargo del 100% de flores, produjo un 59% de frutos. Así mismo el paso del 50% de radiación, provoca una disminución del 22.7% en la producción de flores respecto al tratamiento del 60%; sin embargo el tratamiento 50%, produce al menos un 65% de frutos, comportamiento similar al tratamiento 35%.

Cabe señalar que a pesar de existir un buen porcentaje en cuanto a producción de frutos no significa que estos frutos lleguen a desarrollarse por completo, debido a que falta analizar los resultados obtenidos respecto a frutos cosechados.

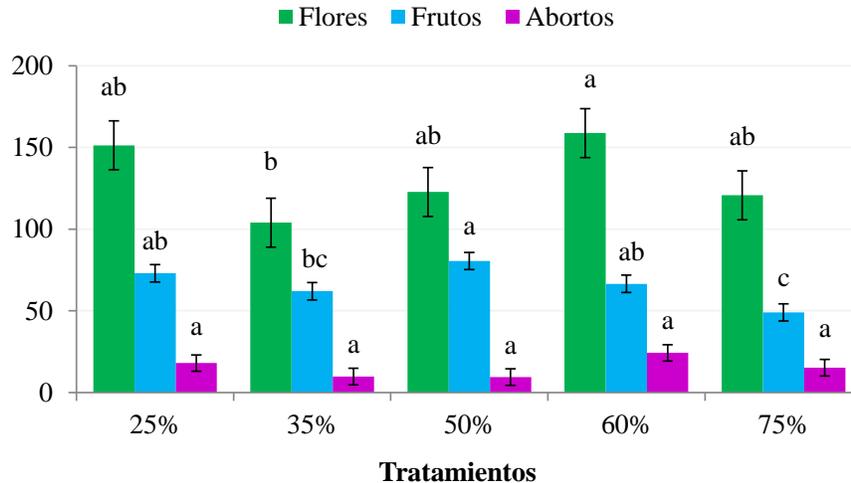


Figura 10. Comparación entre tratamientos sobre el promedio de flores, frutos y abortos totales contabilizados durante el invierno 2014 – 2015 de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de PAR.

Según Zeidan, (2005) menciona que una humedad relativa alta puede producir mala fecundación, ya que el polen se compacta y se presenta aborto de flores. Esto puede justificar la presencia de abortos en todas las películas evaluadas ya que en el ciclo presentaron 80% de humedad relativa, por un lapso de 10 horas, los tratamientos presentaron entre el 7 y 15% de abortos no habiendo diferencias estadísticas entre ellos.

Así mismo Castro *et al.*, (2014) indica que humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. Lo anterior coincide con el tratamiento 60% quien presentó la mayor humedad relativa en el periodo de evaluación, afectando la producción de frutos y numéricamente fue quien presentó más abortos.

VII.4.6 Viabilidad de polen

Los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas para las primeras evaluaciones hechas el día 12 y 27 de marzo de 2015 en ninguno de los tratamientos manteniéndose la viabilidad del polen por arriba del 80 % en los tratamientos como se puede observar en la figura

11. Por otro lado para la última evaluación el día 20 de Abril de 2015, en todos los tratamientos disminuyó la viabilidad, este cambio puede deberse a que en el mes de abril hubo una humedad relativa entre un 40 a 55% y una mayor temperatura entre 27 y 31 °C; respecto al mes de marzo significa una disminución del 15% de H.R. y 10 °C más de temperatura. Así mismo se observan diferencias significativas entre los tratamientos 50% y 60% con un 66 y 41% de flores viables respectivamente, sin embargo no queda claro este comportamiento.

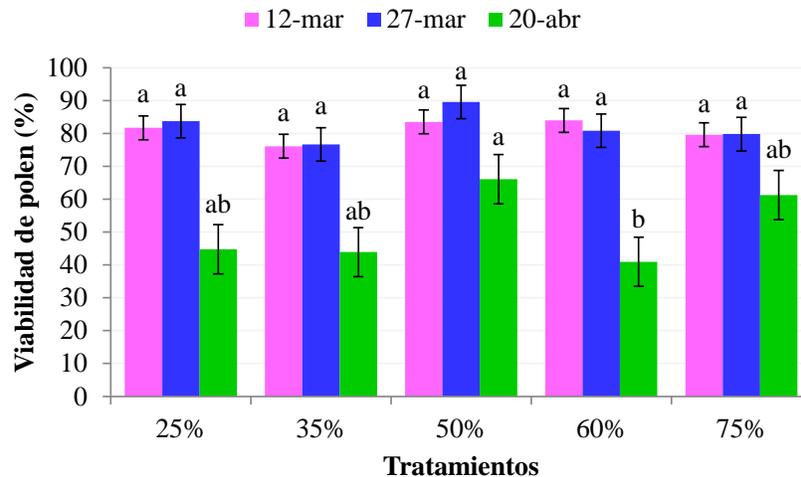


Figura 11. Viabilidad de polen de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación PAR, evaluada en tres fechas diferentes (12/03/2015, 27/03/2015 y 20/04/2015).

Lo anterior descrito, indica que la viabilidad del polen no es un factor limitante en la producción de tomate, ya que las plantas crecidas bajo un 75% o un 25% de radiación no presentaron diferencias estadísticas en la viabilidad. Sin embargo es importante analizar la viabilidad del polen en un mayor número de fechas, así como tratar de analizar si existe un efecto en el apelmazamiento del polen o si hay un desecamiento de este, que pueda influir en los rendimientos.

VII.5 Fotosíntesis

En la figura 12 se puede ver que a los 112 y 137 ddt, no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos 25%, 35% y 50%, demostrando que a pesar de existir alta transmisión de

radiación en los tratamientos 25% y 35%, no indican que exista mayor fotosíntesis; mientras el 50% llega a presenta mayor fotosíntesis llegando a valores de 14 y 25 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los resultados obtenidos son similares a los resultados obtenidos por Marín *et al.*, (2014), donde la máxima tasa fotosintética se observó en torno a los 79 días después de trasplante, la cual ha estado comprendida entre 8 y 15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en la producción de tomate bajo invernadero en invierno.

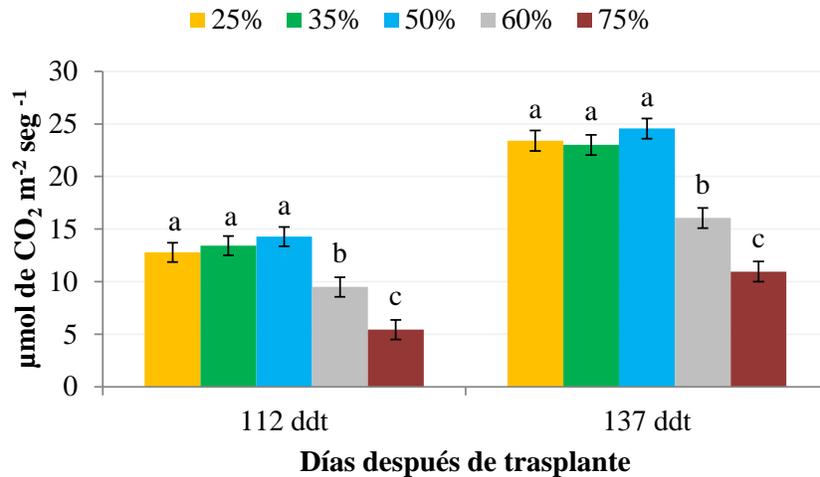


Figura 12. Fotosíntesis de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas, obtenida entre las 12:00 pm y 13:00 pm, en un día despejado a los 112 y 137 ddt, letras diferentes en la misma fecha indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

La poca transmisión de radiación por parte de los tratamientos 60% y 75%, provoca una disminución de la fotosíntesis en las plantas evaluadas siendo estas estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos presentando a los 112 ddt, 9 y 5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sin embargo con el paso de los días va incrementando la radiación exterior y por lo tanto se observan incrementos en la fotosíntesis en las plantas bajo los tratamientos 60% y 75%, con 16 y 11 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a los 137 ddt y 17 y 13 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente.

Noreña *et al.*, (2013a) menciona que cuando la humedad relativa es baja y la temperatura es alta, se debe ventilar para facilitar la circulación del aire, pues se produce una mayor tasa de transpiración pudiendo causar estrés hídrico, mayor actividad radicular y cierre estomático reduciendo la actividad fotosintética de la planta.

En la siguiente correlación (Figura 13), se encontró una relación entre la fotosíntesis y la radiación PAR, la cual a medida que va aumentando la PAR, también lo hace la fotosíntesis hasta que llega un punto en el que a valores altos de PAR ya no significan incrementos de fotosíntesis, al contrario se observa una disminución gradual de esta. Lo anterior justifica el comportamiento en los tratamientos 25% y 35% en la cual altas transmisiones de radiación (65% a 75%) no es sinónimo de mayor fotosíntesis.

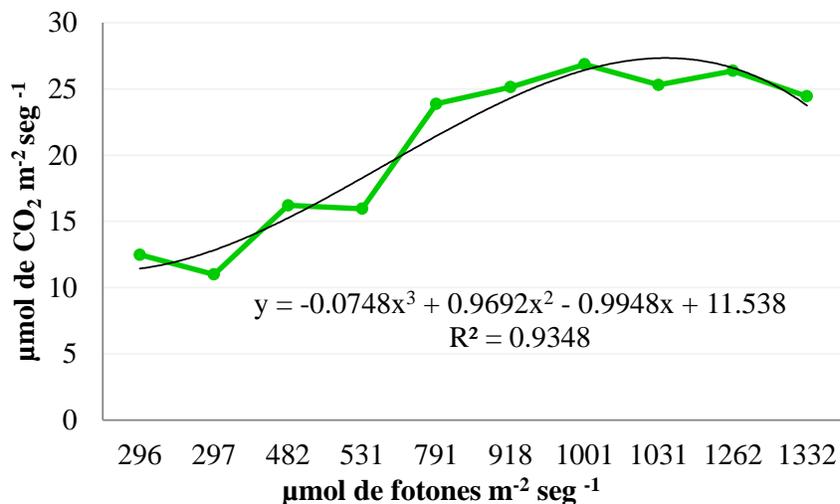


Figura 13. Correlación entre radiación PAR y fotosíntesis, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas, obtenida a las 12:00 pm, en un día despejado en el mes de Marzo de 2015.

VII.6 Producción de flores y frutos

Para evaluar el rendimiento, en la figura 14, se graficó la cantidad de frutos cosechados durante el experimento, donde podemos observar que los tratamientos 35% y 60%, mantienen una producción similar con 52 y 50 frutos respectivamente sin haber diferencias estadísticas significativas entre sí, quien si presenta diferencias entre los tratamientos 35%, 60% y 75% es la película bajo 50% con una producción de 71 frutos totales, demostrando que una alta radiación como en los tratamientos 25% y 35% no llegan a producir más frutos que la película que bloqueo el 50% de la radiación; Transmitir solo el 25% de radiación reduce significativamente la producción de frutos.

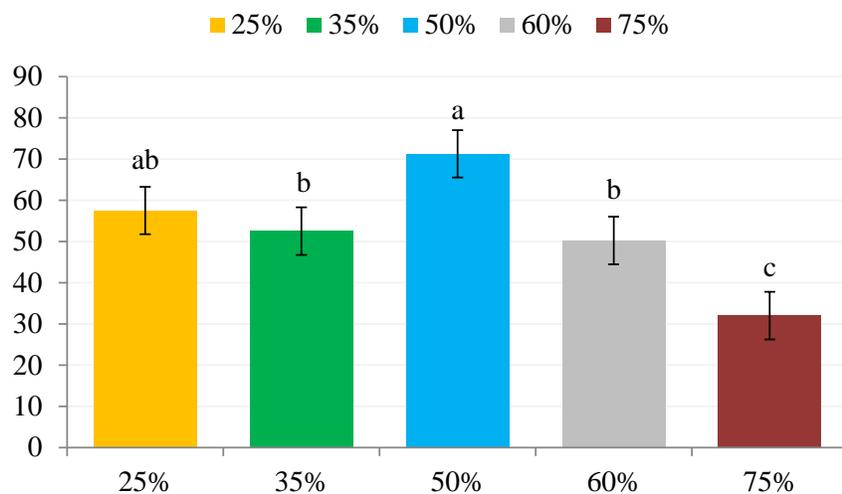


Figura 14. Número de frutos cosechados, de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Anteriormente se observó la producción de flores y abortos totales por tratamiento (Figura 10), mientras en la figura 14 se mostraron los frutos totales cosechados, a continuación se hace una comparación por tratamiento entre la producción de flores totales y que porcentaje de estas fueron frutos cosechados y abortos; para así determinar con la diferencia de estas el número de flores que se quedaron sin polinizar (significa que aún no llegaron a antesis).

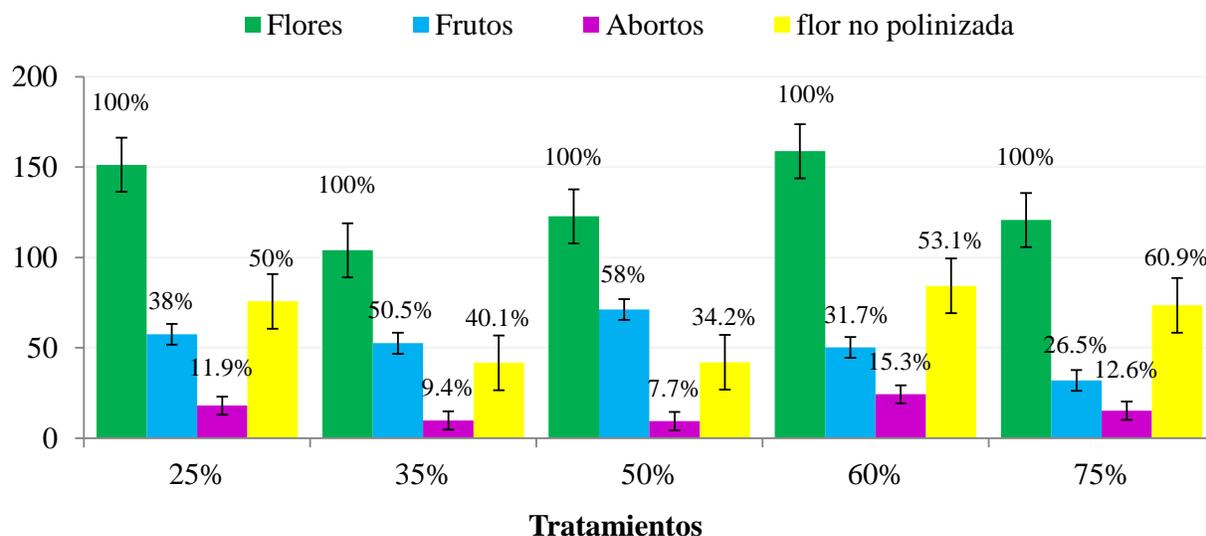


Figura 15. Comportamiento entre tratamientos y cada una de las variables evaluadas: número de flores totales, frutos cosechados, abortos y flor no polinizada, expresado en cantidad y porcentaje (el % es en relación al número de flores producidas por tratamiento) de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.

Mientras los tratamientos 60% y 25% presentaron una alta producción de flores, esto no significó una mayor producción de frutos, ya que del 100% de flores solo un 32 y 38% de estas llegaron a convertirse en frutos, pudiendo influir el microclima generado al interior de las películas; quedando un 53.1 y 50.1% de flores no polinizadas (Figura 15) que pueden llegar a convertirse en frutos. Caso muy similar para el tratamiento 75% quien presenta un 60.9% de flores no polinizadas y solo un 26.5% de frutos cosechados, estos resultados nos dicen que hay un retraso en la apertura de las flores para los tratamientos 75% y 60%, ya que en los conteos semanales se observó cómo mientras estos presentaban su primer racimo el tratamiento del 50% ya contaba con su tercer racimo y los primeros frutos. Fornaris, (2007) menciona que un pobre cuaje de frutas puede ser el resultado de que las flores no se polinizaron. Aun logrando una polinización adecuada, algunas otras condiciones pueden causar la caída de flores y un pobre cuaje de frutas, es el que previamente ya se hayan cuajado muchas frutas en la planta, una fertilización excesiva, luz insuficiente y temperaturas extremadamente altas.

A diferencia de los tratamientos 25%, 60% y 75% las películas bajo 35% y 50% se postulan a ser las más aptas para la producción de tomate en la época invernal como lo muestra la figura 15,

esto debido a su buen porcentaje de producción de frutos llegando a un 50.5 y 58% de las flores totales y aunque no existió diferencia estadística significativa en cuanto al porcentaje de abortos entre tratamientos, estas películas numéricamente se mantuvieron con un bajo porcentaje de abortos y aun con un potencial de producción de 40.1 y 34.2 % de flores no polinizadas. Estos resultados indican que bloqueos de radiación entre un 50 y 35% son favorables para la producción de tomate bajo túnel en invierno, ya que fueron las que mantuvieron una mayor temperatura al interior de los túneles.

VII.6.1 Rendimiento comercial y no comercial

En el cuadro 5 se muestra el rendimiento comercial y rezaga por planta (kg planta^{-1}) de cada uno de los tratamientos de radiación limitada.

Cuadro 5. Rendimiento comercial y no comercial en kg planta^{-1} de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.

Tratamientos	Rendimiento comercial (kg planta^{-1})	Rendimiento no comercial (kg planta^{-1})
25%	1.1 ^{bc}	0.64 ^a
35%	1.4 ^b	0.58 ^a
50%	2.6 ^a	0.58 ^a
60%	1.0 ^{bc}	0.49 ^a
75%	0.4 ^c	0.34 ^a

Medias seguidas de letras distintas en la misma columna, fueron estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ($P < 0,05$).

Para el rendimiento comercial si hubo diferencia estadística significativa entre el tratamiento 50% y cada uno de los tratamientos (Cuadro 5), llegando a tener un rendimiento de $2.6 \text{ kg planta}^{-1}$, poco más de 1 kg que los tratamientos 25%, 35% y 60%, mientras el tratamiento 75% no produjo ni $0.5 \text{ kg planta}^{-1}$. A pesar de que en la (Figura 15) el tratamiento 35%, presento una producción de frutos similar al 50%, no alcanza a producir una similitud en frutos comerciales, pero si en frutos no comerciales, aunque para esta variable no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

VII.7 Calidad de los frutos

En el cuadro 6, está representada por tratamiento la cantidad de frutos cosechados y su clasificación establecida por la Marca Oficial “México Calidad Suprema” para tomate tipo bola, en la cual hay una gran cantidad de frutos rezaga o no comercial pero que no representan diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

Del total de frutos cosechados, entre el 40 y 77% son frutos rezaga, aunque estadísticamente no hay diferencias entre tratamientos, se observa una diferencia numérica entre estos; siendo el tratamiento 50% quien produjo un menor porcentaje de estos con el 43.9%, en tanto el tratamiento 75% produjo un 77.3% de frutos rezaga.

Para los tratamientos 25% y 60%, su producción comercial se concentra en frutos chicos, medianos y grandes, mientras que el tratamiento 75%, su producción es mínima entre 4.7% y 6.3% de frutos desde extra grande a chico, este bajo porcentaje de producción se debe a que el 77.3% de sus frutos no alcanzaron un calibre para ser comerciales, caso contrario al tratamiento 50%, quien se mantiene con 11.9 a 13.3% de extra grandes a chicos y numéricamente es quien produce más frutos de calidad máximo extra grande con el 5.6% de frutos. Finalmente el tratamiento 35%, mantiene producciones variables en todas las categorías pero la mayor producción se concentra en frutos chicos y grandes con 15.2 y 11.9% siendo la segunda mejor película en cuanto a calidad de frutos.

Cuadro 6. Número de frutos cosechados (expresado en porcentaje) y su clasificación de acuerdo a (Mexicano, 2005), de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.

Tratamientos	Máximo extra grande	Extra grande	Grande	Mediano	Chico	Rezaga
25%	0.4 b	5.7 b	4.3 b	6.5 b	19.1 a	63.9 a
35%	1.9 ab	8.6 ab	11.9 a	9.0 b	15.2 a	53.3 a
50%	5.6 a	11.9 a	11.9 a	13.3 a	13.3 a	43.9 a
60%	2.0 ab	4.0 b	6.0 b	6.0 b	20.4 a	61.7 a
75%	0.8 b	5.5 b	4.7 b	5.5 b	6.3 b	77.3 a

Para terminar ya conociendo los resultados en cuanto a frutos por calibre (Cuadro 6), analizaremos el rendimiento basado en cada una de las categorías (Figura 17), se puede decir que un mayor calibre del fruto corresponde a mayor peso y será expresado en mayor rendimiento, el producir muchos frutos pequeños significara rendimientos menores comparados con frutos de un calibre mayor como se puede ver en el tratamiento 50% cuya producción de frutos chicos y medianos fue la misma sin embargo el peso fue mayor para los frutos medianos.

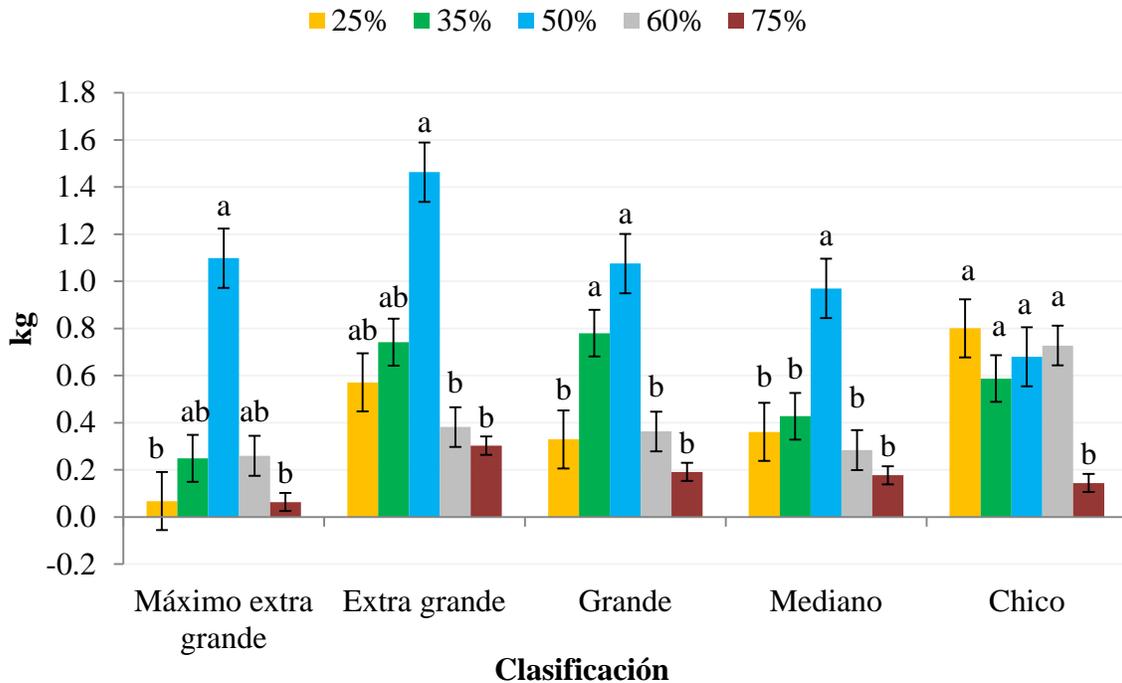


Figura 16. Rendimiento promedio de frutos cosechados de acuerdo a su clasificación según (Mexicano, 2005), de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes películas plásticas durante el invierno 2014 – 2015.

En todas las calidades fue el tratamiento 50% la mejor película, seguida del tratamiento 35%, lo cual coincide en una mayor temperatura presente en ambas películas, las cuales ayudaron al crecimiento de los frutos.

VII.8 Análisis de crecimiento

VII.8.1 Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)

El muestreo de materia seca se realizó en cuatro fechas diferentes a los 62, 94, 138 y 198 ddt, el coeficiente de partición de biomasa nos muestra como se distribuyeron los asimilados en la planta a lo largo del ciclo de cultivo, el patrón de distribución de biomasa de las plantas de tomate fue variable conforme transcurrieron los días, en todo el ciclo la repartición para el tallo siempre fue mayor excepto a los 198 ddt; seguida de las hojas, flores y frutos a los 62 ddt, cambiando este patrón a los 94 y 138 ddt hacia hojas, frutos y flores, para finalizar a los 198 ddt con un patrón más dirigido hacia frutos, tallos, hojas y flores.

Cuadro 7. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 62 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.

CPB a los 62 DDT				
Tratamiento	CPBTallo	CPBHoja	CPBFlor	CPBFruto
25%	0.5266 a*	0.4607 b	0.0087 a	0.0040 ab
35%	0.5127 ab	0.4595 b	0.0076 a	0.0202 a
50%	0.5021 ab	0.4796 ab	0.0086 a	0.0097 ab
60%	0.4941 b	0.4992 a	0.0067 a	0.0000 b
75%	0.5100 ab	0.4836 ab	0.0064 a	0.0000 b
C.V. (%)	4.04	3.9	31.3	171.86

C.V.= Coeficiente de variación; * = Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

En la primera fecha, es decir a los 62 ddt, los diferentes tratamientos de cubierta plástica, indujeron en general el mayor envío de biomasa hacia los tallos (Cuadro 7), fluctuando los valores entre el 49% del tratamiento con 60% de bloqueo y el 52% del tratamiento del 25% de bloqueo. Con respecto al CPBHoja, todos los tratamientos plásticos, enviaron menos del 50% de biomasa para formar esta estructura, los diferentes valores fluctuaron entre el 45% para el tratamiento del 25% de bloqueo, hasta el 49% inducido por el tratamiento del 60% de bloqueo.

Con respecto a la distribución de nueva biomasa hacia la flor, en esta fecha de muestreo ya todos los tratamientos promovieron la formación de flores, aunque aún es un muy bajo porcentaje de biomasa que destinan a la formación de esta estructura. Nuevamente el tratamiento del 25% induce el envío de la mayor cantidad de biomasa hacia la flor, mientras que el tratamiento del 75% es el que acumula menos biomasa en esta estructura. Para la acumulación de biomasa en el

fruto, se observa en la fecha número 1, que solamente algunos tratamientos plásticos inducen la formación de frutos en esta fecha y también se observa un CV muy elevado lo que indica una gran variación de la respuesta entre las diferentes repeticiones. El tratamiento del 35% promueve una acumulación de biomasa nueva en el fruto del 2%, mientras que el del 25%, solo destina un 0.4% para el CPBFruto.

Con respecto al CPBTallo (Cuadro 8), en la fecha de muestreo 2 (94 ddt), se encontró que los tratamientos 60% y 75% indujeron un ligero incremento del 2 y 3% en esta variable; mientras que en el tratamiento 35% se mantuvo igual al muestreo anterior y los tratamientos 25% y 50% redujeron su acumulación de biomasa en este órgano en un 5 y 1.4 % respectivamente. Con respecto al CPBHoja se observa una disminución en general y en todos los tratamientos se acumula una menor biomasa que en el muestreo anterior; excepto el tratamiento del 25%, el cual incrementó su acumulación de biomasa en un 1.4%. En cuanto a la acumulación de biomasa hacia las flores, se ve una pérdida para todos los tratamientos siendo mayor para el tratamiento 25%, con el 0.7% y en menor proporción para 75%, con el 0.1%. Con relación hacia la distribución de nueva biomasa para el fruto, todos los tratamientos indujeron un mayor CPBFruto respecto a la fecha 1, aunque se encontró una mayor inducción en las películas 25% y 50% con 4 %, el tratamiento del 75% es quien la promovió en menor cantidad con solo el 1% y un CV mucho menor al primer muestreo.

Cuadro 8. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 94 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.

CPB a los 94 DDT				
Tratamiento	CPBTallo	CPBHoja	CPBFlor	CPBFruto
25%	0.4785 b*	0.4750 a	0.0018 b	0.0446 a
35%	0.5133 ab	0.4385 a	0.0017 b	0.0465 a
50%	0.4878 ab	0.4574 a	0.0035 b	0.0513 a
60%	0.5286 a	0.4445 a	0.0033 b	0.0236 ab
75%	0.5298 a	0.4546 a	0.0057 a	0.0098 b
C.V. (%)	6.46	5.62	39.98	60.67

C.V.= Coeficiente de variación; * = Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Respecto al tercer muestreo (138 ddt), en el CPBTallo, se encontraron que las diferentes películas plásticas promueven una mayor acumulación de biomasa hacia esta estructura, siendo en menor proporción para el tratamiento del 50% de bloqueo con 40% de la biomasa total y en mayor

cantidad para el 60% de bloqueo con un 52%. Estos resultados, indican como la planta disminuyó en todos los tratamientos la distribución de asimilados variando entre el 1.2% en el tratamiento 60% y 8.8% para el tratamiento 50%. En cuanto al CPBHoja, todos los tratamientos mostraron una reducción en el envío de asimilados hacia esta estructura, fluctuando en menor cantidad 9.9% para el tratamiento 75% y un 20.5% para el tratamiento 50%, estas reducciones se deben a que las plantas mandan una mayor cantidad de asimilados hacia estructuras de mayor demanda como es el fruto (Cuadro 9). El CPBFlor, no representa ni el 1% de la biomasa total, siendo la estructura de menor demanda de asimilados, aunque existen diferencias estadísticas entre los tratamientos 75% y 50% con 0.0047 y 0.0021 g, no son significativos. En el cuadro 8, se puede apreciar la distribución de biomasa hacia el fruto. En el tratamiento 50%, existe una mayor acumulación de biomasa en el fruto con 33%, seguido de las hojas con el 25%; caso contrario al observado en el tratamiento del 60% de bloqueo, con el 16% en fruto y 31% hacia hojas. Estas variaciones demuestran que, al momento de distribuir más asimilados hacia un órgano en específico, el reparto hacia las diferentes estructuras disminuye. Los diferentes niveles de radiación afectan a la planta; esta se adapta al microclima generado en cada una de las películas y como resultado, algunas plantas se vuelven más vegetativas que reproductivas.

Cuadro 9. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 138 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.

CPB a los 138 DDT				
Tratamiento	CPBTallo	CPBHoja	CPBFlor	CPBFruto
25%	0.4500 ab*	0.3014 ab	0.0028 ab	0.2458 ab
35%	0.4761 ab	0.2657 b	0.0027 ab	0.2556 ab
50%	0.4000 b	0.2528 b	0.0021 b	0.3452 a
60%	0.5168 a	0.3148 ab	0.0034 ab	0.1650 b
75%	0.4469 ab	0.3560 a	0.0047 a	0.1924 ab
C.V. (%)	15.86	17.58	45	45.25

C.V.= Coeficiente de variación; * = Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Al finalizar el ciclo del cultivo (198 ddt), se observa como la acumulación de biomasa se concentra en los frutos, desplazando a los tallos, hojas y flores. El CPBTallo, se redujo en un 10% en el tratamiento 60% y 1.7% en el tratamiento 25%, excepto en el 75% quien lo incremento un 3%. Para el CPBHoja, fue mayor en el tratamiento 75% y menor en el 50%, ver cuadro 8. Respecto a la fecha anterior (138 ddt) todas las cubiertas plásticas redujeron la biomasa hacia esta

estructura entre un 15% y 20%, lo cual muestra que las plantas concentraron su biomasa hacia otras estructuras, que tienen una mayor demanda, como son los frutos.

En cuanto a la acumulación de biomasa en flores, el menor peso se encontró en el tratamiento con 50% de bloqueo con 0.0003 g, sin embargo el tratamiento 25%, acumulo más biomasa con 0.0015 g. Respecto a la fecha anterior (138 ddt), todos los tratamientos muestran una disminución en biomasa del 0.1 al 0.4%; este comportamiento puede deberse a que la planta está envejeciendo y produciendo menos flores, así como puede haber un mayor número de flores que cuajaron y están por convertirse en frutos. En cuanto al CPBFruto (Cuadro 10), se encontró un alto peso para el tratamiento con 50% de bloqueo con un 60% de la biomasa total; mientras el tratamiento con 75% de bloqueo solo represento el 37%. De todas las películas evaluadas, se encontró una mayor acumulación de biomasa en el tratamiento del 60% de bloqueo con un 30% respecto a la fecha anterior, en tanto la película bajo el 75% de bloqueo produjo el 17%. Lo anterior señala que las condiciones microclimáticas generadas en cada película van cambiando conforme pasan los meses y las plantas se van adaptando a estas condiciones, lo cual puede ser para su beneficio o su deterioro.

Cuadro 10. Coeficientes de partición de biomasa de un cultivo de tomate a los 198 DDT, bajo diferentes cubiertas plásticas.

CPB a los 198 DDT				
Tratamiento	CPBTallo	CPBHoja	CPBFlor	CPBFruto
25%	0.4333 ab*	0.1126 b	0.0015 a	0.4526 b
35%	0.4335 ab	0.1067 bc	0.0005 b	0.4593 b
50%	0.3256 b	0.0699 c	0.0003 b	0.6041 a
60%	0.4135 ab	0.1170 ab	0.0007 b	0.4689 b
75%	0.4770 a	0.1530 a	0.0004 b	0.3696 b
C.V. (%)	17.89	22.81	54.55	17.68

C.V.= Coeficiente de variación; * = Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

VII.8.2 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Esta variable representa la ganancia de biomasa con respecto a la superficie asimilatoria por unidad de tiempo. En la figura 18, se muestra el comportamiento de la TAN para las diferentes películas evaluadas, a los 94 ddt en todos los tratamientos se observa un valor de ganancia de

biomasa que oscila entre 2.4 y 2.6 g m² día⁻¹ en 50%, 60% y 75%, mientras el tratamiento 35% tiene la más baja TAN con 1.6 g m² día⁻¹, caso contrario al tratamiento 25% quien tiene más del 50% de biomasa que el tratamiento del 35% de bloqueo (Anexo 1). En la segunda fecha (138 ddt), la más baja TAN es para el tratamiento 60%, mientras el tratamiento 25% sigue siendo el de mayor asimilación; respecto al primer muestreo todas las películas redujeron su eficiencia fotosintética entre un 9 y 23%, excepto para el tratamiento 35% quien la incremento en un 54%. A pesar de que en esta fecha hay un mayor IAF en todos los tratamientos, la tasa fotosintética se reduce, este comportamiento puede deberse al incremento del sombreo, condición en la cual parte del área foliar no queda expuesta a la PAR, reduciendo la tasa fotosintética e incrementando la tasa respiratoria de mantenimiento.

Para la tercera fecha evaluada y volviendo a comparar el comportamiento de los tratamientos respecto a la segunda fecha (138 ddt), se observa un incremento en la eficiencia fotosintética, siendo más alta en el tratamiento 35% con 5.27 g m² día⁻¹ y más baja en el tratamiento 75% con 1.88 g m² día⁻¹; respecto al muestreo anterior, la tendencia de la TAN fue a incrementar entre un 32% para el tratamiento del 25% de bloqueo y 114% en el tratamiento 50% (Figura 19); excepto para el tratamiento 75% quien la disminuyo en un 6%. Los incrementos en la TAN corresponden a una reducción del IAF en dicha fecha (198 ddt).

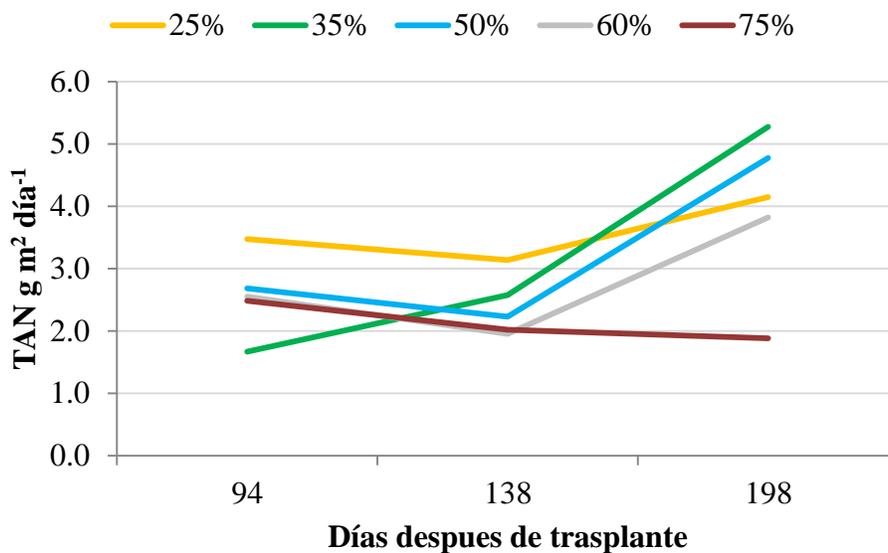


Figura 17. Comportamiento de la tasa de asimilación neta en las plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.3 Índice de Área Foliar (IAF)

Durante el primer muestreo (94 ddt), se encontraron diferencias altamente significativas (Anexo 2), la película bajo el tratamiento 75% tuvo el más bajo IAF con valores de 1,106, caso contrario al encontrado en el tratamiento 50% quien obtuvo valores de 2614, más del doble al encontrado en el tratamiento 75%. A medida que transcurren las semanas y llegamos al segundo muestreo (138 ddt), el tratamiento 50% es quien presenta un mayor IAF, ver figura 19, en tanto el tratamiento 75% sigue presentando el más bajo IAF; estos valores corresponden a un incremento de área foliar en todos los tratamientos, respecto a la fecha anterior (94 ddt); siendo mayor este incremento para el tratamiento del 75% de bloqueo con un 57% y menor en el tratamiento del 50% de bloqueo con 14%.

Al comparar la respuesta de las plantas a los 198 ddt respecto a la segunda fecha (138 ddt), se ve como el tratamiento 25% tiene un menor IAF con 1755, reduciendo en un 13.9% respecto al muestreo anterior, el mismo comportamiento se observa en el tratamiento 60%, con una reducción de su IAF en 7.6%, sin embargo fue quien presentó un mayor índice de área foliar.

Heuvelink y Dorais, (2005) describen para el tomate, que la luz interceptada es un factor determinante para el crecimiento y la producción de biomasa y depende principalmente del área foliar de la planta, ya que valores elevados de área foliar se relacionan con una mayor producción de biomasa y rendimiento.

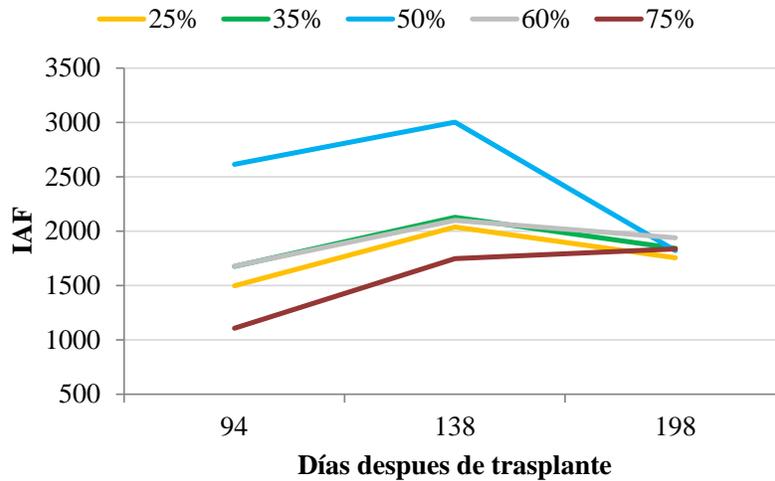


Figura 18. Comportamiento del índice de área foliar en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.4 Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)

Como índice que representa la productividad del cultivo, la TCC indica la acumulación de biomasa por unidad de superficie de suelo y por unidad de tiempo (Hunt, 1978). La película con mejor acumulación de biomasa durante la primera evaluación (94 ddt) fue claramente para el tratamiento 50% con valores de $0.00090 \text{ g cm}^2 \text{ día}^{-1}$, demostrando ser muy superior a las películas del 35% de bloqueo con valor de $0.00039 \text{ g cm}^2 \text{ día}^{-1}$ y el tratamiento 75% de bloqueo con $0.00034 \text{ g cm}^2 \text{ día}^{-1}$ (Anexo 3); En la segunda fecha evaluada (138 ddt), el tratamiento 75% tiene una menor TCC, mientras el tratamiento del 50% es quien tiene la mayor tasa de crecimiento. El comportamiento en general es de incrementar la ganancia de biomasa, sin embargo los tratamientos 50% y 60% la disminuyen en un 1.2% y 11.7% respectivamente, a diferencia de los tratamientos con 25%, 35% y 75% de bloqueo quienes la aumentan un 19.6%, 90% y 41.5%, estas caídas en la acumulación de biomasa pueden estar relacionadas con el inicio en la producción de frutos de cada uno de los tratamientos y que la planta va envejeciendo. En la última fecha (198 ddt), el tratamiento del 35% presenta una alta acumulación de biomasa, mientras el tratamiento del 75% es quien presenta una menor capacidad de producción de biomasa por unidad de superficie, sin embargo todos los tratamientos incrementaron la TCC, excepto el tratamiento del 75% quien la redujo.

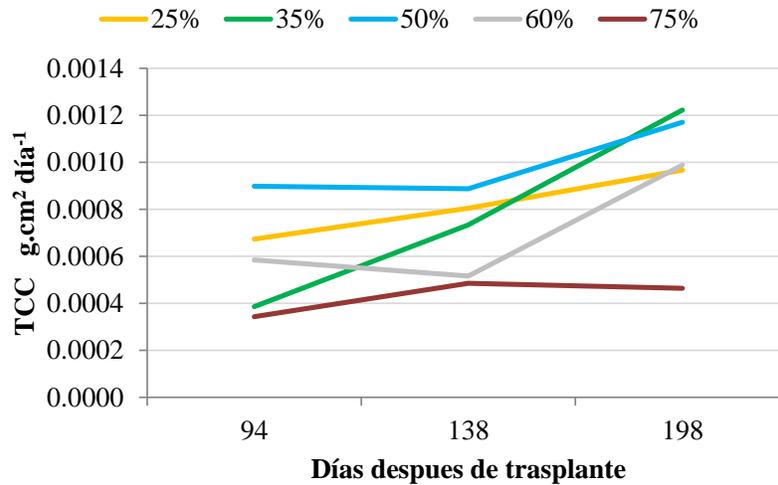


Figura 19. Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.5 Relación de Área Foliar (RAF)

Esta variable nos dice que por cada gramo de peso seco de la planta cuantos centímetros cuadrados tengo de área foliar. En la primera fecha de muestreo se encuentran diferencias altamente significativas (Anexo 4), siendo el tratamiento 75% quien presenta una alta RAF con $142 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, a diferencia del tratamiento 25% con $90 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, lo cual indica que las plantas bajo el tratamiento 75% producen más superficie de hojas y las del tratamiento 25%, se encuentran en un ambiente no agradable por lo cual disminuyen la superficie de estas. En relación al segundo muestreo, se mantiene el comportamiento en los tratamientos 25% y 75%, respecto a la fecha anterior, aunque se presenta una reducción de la RAF entre un 22 y 34% en todos los tratamientos. En el último muestreo (198 ddt), el tratamiento 50%, es quien presenta una baja relación de área foliar, caso contrario al presentado en el tratamiento 75%, quien sigue manteniendo una mayor RAF respecto a los demás tratamientos, sin embargo todos los tratamientos redujeron su RAF entre un 46 y 66% respecto a la fecha anterior. En la figura 21 se puede apreciar la tendencia de las cubiertas evaluadas y ver como al transcurrir los días la RAF va disminuyendo.

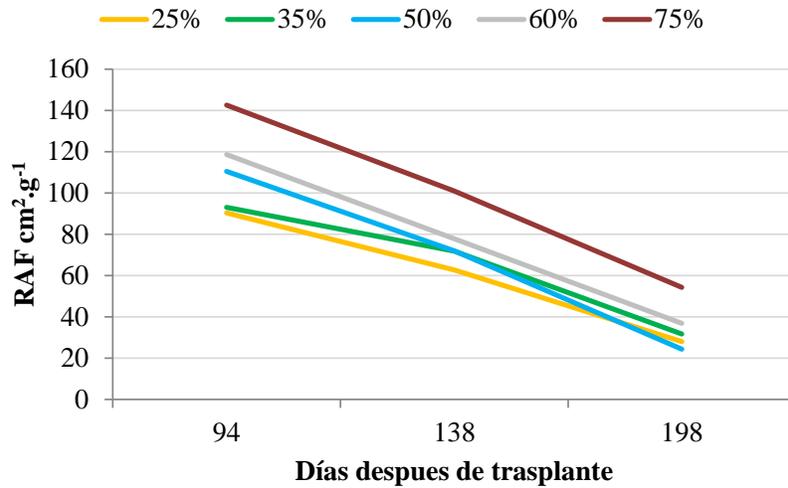


Figura 20. Comportamiento de la tasa de relación de área foliar en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.6 Relación de Peso Foliar (RPF)

Es la relación que existe entre la biomasa de la hoja con respecto a la biomasa de toda la planta. Hay una alta biomasa distribuida hacia hojas en el tratamiento 60% y una menor biomasa en 35%, aunque no son estadísticamente significativos (Anexo 5). En la segunda fecha, se observa una menor biomasa en el tratamiento 35%, mientras el tratamiento del 75% es quien tiene una alta RPF, en general en todos los tratamientos hay una reducción del peso foliar variando de un 13 a un 24%, esta reducción se debe a que a los 138 ddt, el CPBFruto se incrementó entre un 14 y 29%. A los 198 ddt, el tratamiento 75%, ligeramente tiene una mayor RPF con $0.2545 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, en tanto el tratamiento 50%, es el de menor RPF con $0.1613 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, encontrando nuevamente una reducción en todos los tratamientos de un 37 a 54%, estas diferencias nuevamente coinciden con una mayor distribución de asimilados hacia los frutos. La reducción de la RPF, se debe a que al inicio del ciclo las plantas concentran una mayor cantidad de asimilados a la producción de las hojas, mientras transcurren las semanas esta relación disminuye debido a que otras estructuras como los frutos comienzan a demandar más asimilados y las hojas ya no son prioritarias y su demanda es menor en comparación con la demanda de los frutos.

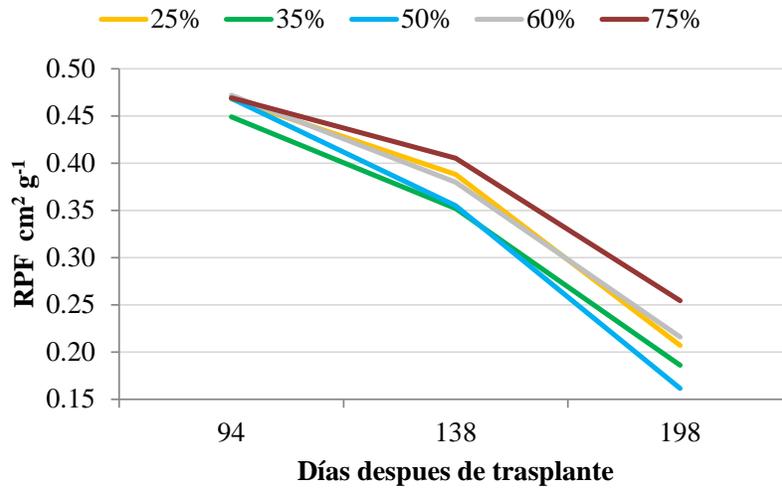


Figura 21. Comportamiento de la relación de peso foliar en las plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.7 Área Foliar Específica (AFE)

El área foliar específica hace mención a la dispersión de la masa en el espacio, conforme esta relación disminuya también disminuyen los espacios aéreos. En la figura 23, se puede apreciar el comportamiento del AFE durante las fechas evaluadas. A los 94 ddt, se observa como el tratamiento 25% presenta una hoja con pocos espacios aéreos $193 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, en contraste con el tratamiento del 75% de bloqueo con $303 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$, tiene una hoja con más espacios aéreos (Anexo 6). En el segundo muestreo (138 ddt), persiste el comportamiento para los tratamientos 25% y 75%, en general hay una disminución del AFE en todos los tratamientos, entre un 5 y 20%. En el último muestreo el AFE, nos sigue demostrando como el tratamiento 25% tiene una hoja con pocos espacios aéreos y el tratamiento del 75% de bloqueo, más espacios aéreos. En todos los tratamientos esta relación disminuye entre el 8 y 17%.

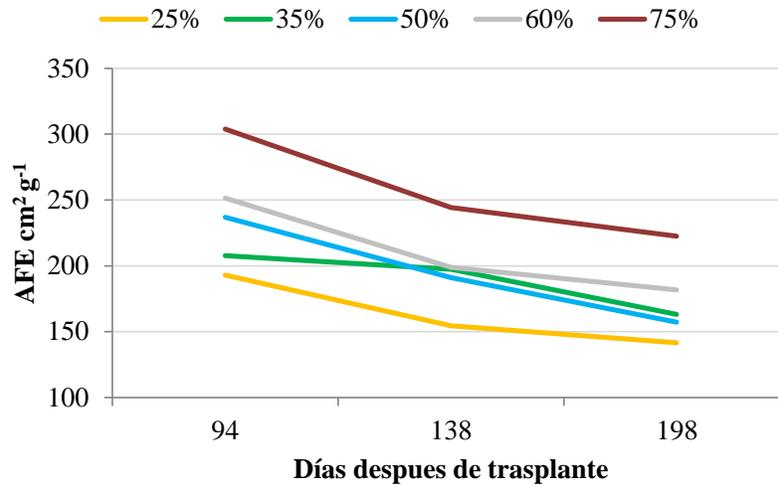


Figura 22. Comportamiento del área foliar específica en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

VII.8.8 Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto (IECfr)

Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos (Anexo 7), siendo el tratamiento del 25%, quien tiene un mayor índice de eficiencia de crecimiento del fruto con $0.236 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$, caso contrario al tratamiento del 75% con solo $0.036 \text{ g m}^2 \text{ día}^{-1}$, esto indica mayor crecimiento de frutos para el tratamiento del 25%. Durante el segundo muestreo, el tratamiento del 50% de bloqueo, es quien presenta un mayor IECFr, en tanto el tratamiento 60% y 75% son los que menor eficiencia presentan, posiblemente debido al bajo porcentaje de radiación que dejan pasar al interior de los túneles. En general hubo un incremento en la eficiencia de crecimiento, debido al incremento de la TAN y de la reducción de asimilados de las demás estructuras.

Para el tercer muestreo, el IECfr es mayor en el tratamiento del 50% de bloqueo, lo cual indica una mayor producción de frutos, caso contrario al tratamiento del 75%, quien tiene una menor eficiencia de crecimiento, traducido a un menor rendimiento y producción de frutos.

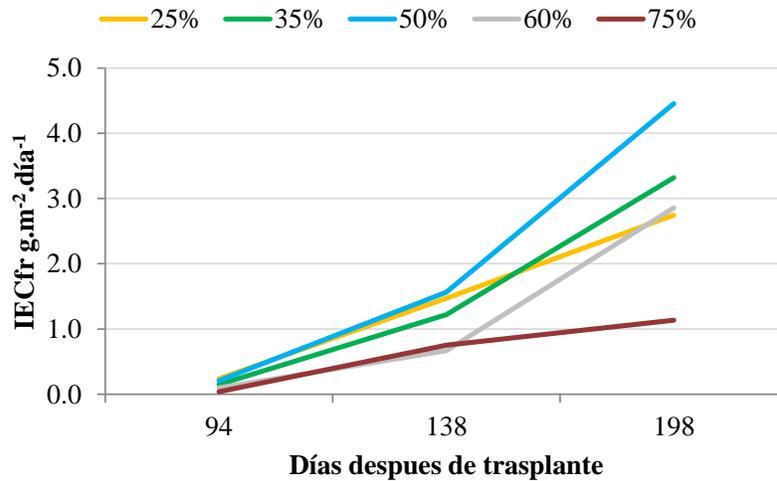


Figura 23. Comportamiento del índice de eficiencia del crecimiento del fruto en plantas de tomate, bajo diferentes películas plásticas.

Se puede concluir que una radiación del 50% influye de manera positiva en el crecimiento de las plantas durante el invierno, ya que permite un mayor IAF, lo cual significa mayor intercepción de radiación y más fotosíntesis, que a su vez se traduce en un incremento de producción de asimilados que posteriormente se van hacia los frutos. La RAF y RPF fueron altos a los 94 ddt, esto coincide con los valores de CPBHoja donde se acumuló un mayor peso, y a su vez va disminuyendo conforme van transcurriendo los días, siendo el 50% de radiación quien tuvo los valores más bajos, indicando que mandaba los asimilados hacia otros órganos como lo es el fruto.

En cuanto al AFE se encontró que una radiación del 75% provoca hojas con mayor espacio aéreo y radiaciones del 25% hojas con menor espacio aéreo, en tanto el 50% de radiación se mantiene con espacios intermedios, esto se relaciona con la TAN ya que se comportó de la misma manera que el AFE en todos los tratamientos. El tratamiento 50%, fue quien presentó mayor IAF, pero su TAN fue menor al tratamiento del 25%, este comportamiento nos indica que un mayor IAF puede causar que las hojas se sombreen entre sí, disminuyendo su capacidad fotosintética.

Finalmente la TCC como un indicador de la productividad nos dice como se comportaron las plantas bajo los distintos porcentajes de radiación. Encontrándose que el 25% de radiación afecta negativamente esta ganancia de peso seco, sin embargo el tratamiento del 50%, presentó la más

alta TCC, esto coincidió con el IECFr ya que también fue mayor permitiendo que los frutos acumularan una mayor biomasa traduciéndose en los mejores rendimientos.

VIII. CONCLUSIONES

Bloquear un 50% ($716 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) de radiación, induce efectos positivos en las plantas ya que con ella se obtuvo la mayor altura de plantas, diámetro de tallo, longitud de nudos, número de frutos cosechados, mayor viabilidad de polen y fotosíntesis.

El tratamiento del 50% ($716 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) de bloqueo indujo en las plantas un mayor índice de área foliar, una mayor tasa de crecimiento del cultivo, así como una distribución paulatina de biomasa hacia frutos y un índice de eficiencia de frutos alta, que posteriormente se tradujeron en un mayor rendimiento y calidad de frutos.

El bloqueo del 75% ($321 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) de radiación concentró su biomasa hacia producción de hojas y tallo, generando un efecto negativo en el cultivo (vegetativo), creando un cambio en los índices de crecimiento al presentar los valores más altos de relación de área foliar, relación de peso foliar y área foliar específica, todo esto afectando su rendimiento y calidad de frutos.

El 50% ($716 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) de radiación en la época de invierno genera una temperatura promedio máxima de $25.8 \text{ }^\circ\text{C}$ y $10.1 \text{ }^\circ\text{C}$ mínima, con una humedad relativa del 63% en el día, permitiendo rendimientos altos y frutos de calidad de exportación.

IX. PERSPECTIVAS

Con este trabajo se generara información científica relevante respecto al efecto del porcentaje de bloqueo de radiación en la fructificación y rendimiento en especies no leguminosas específicamente en tomate, estos datos contribuirán y soportaran científicamente el desarrollo tecnológico de nuevos plásticos.

X. REFERENCIAS

- Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D. M., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., de Jesús Velázquez-Alcaraz, T., Díaz-Valdés, T. y Osuna-Sánchez, J. A. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*. 29(4): 403-410.
- Baeza, S. (2002). Área Específica Foliar como variable de respuesta al pastoreo en gramíneas dominantes de una pradera natural. 17.
- Bastida, A. (2006). Manejo y operación de invernaderos agrícolas. UACH. Dpto. de Preparatoria Agrícola. México. 237.
- Bautista, M. y Alvarado, L. (2005). Producción de jitomate en invernadero. Ediciones Mundi Prensa. Colegio de Postgraduados. México DF, México.
- Bautista, M. N., Chavarín, P. y Valenzuela, E. (2008). Jitomate: Tecnología para su Producción en Invernadero. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Bermúdez, J. H., Escobar, I. y Prados, N. C. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos (I). *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*. (157): 18-27.
- Bringas, G. L. (2004). Producción de tomates en climas extremos. En: *Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas*. 8: 10-13.
- Caldari, J. P. (2007). I Simposio Internacional de Invernaderos 1-5.
- Casierra-Posada, F., Cardozo, M. C. y Cárdenas-Hernández, J. F. (2007). Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía colombiana*. 25: 299-305.

- Castañeda, M. R., Peniche, V. R. d. R. y Herrera, R. G. (2007). Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*. 41(3): 317-335.
- Castelo-Gutiérrez, A., Gutiérrez-Coronado, M., Arellano-Gil, M., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F. y Figueroa-López, P. CALIDAD POSTCOSECHA Y DE RENDIMIENTO DE TOMATE CV. GRANDELLA BAJO UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL EN CONDICIONES DE CASA SOMBRA. In *Memoria del Congreso*, 15.
- Castellanos, J. Z. y Borbón, C. (2009). Panorama de la horticultura protegida en México. Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Intagri. Celaya, Gto., México. pp. 1-18.
- Castellanos, Z. J. (2004). Manejo de la fertirrigación en suelo. pp: 103-123. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2a ed. Castellanos, Z J Ed. Intagri. Celaya, Gto. México.
- Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernadero en la costa mediterránea española. incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. López, JC; Lorenzo, P. 35-49.
- Castro, J. D., Gómez, J. G. y Rivera, J. G. G. M. (2014). Automatización de un invernadero de plántulas de tomate rojo. *Ciencia e Ingeniería*. 1(2): 1-20.
- Cerny, A., Rajapakse, C. y Ryu, Y. (1999). Recent development in photoselective greenhouse covers. In *Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture*, 75-80.
- Clavijo, J. (1989). Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*. 15: 12-16.
- Conabio. (2015). Descripción Botánica. En. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm>. [accesado Agosto 2015].
- Corrales, C. S. (2015). Efecto de tres películas plásticas sobre el microclima del invernadero y el comportamiento agronómico de tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill.

- De la Rosa, I. M. (2015). Índices de crecimiento y coeficientes de partición de biomasa. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.
- Dogliotti, S., Colnago, P., Galván, G. y Aldabe, L. (2011). Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas. Montevideo, UY. La República. 39-57.
- Dussi, M. (2007). Intercepción y distribución lumínica en agro-ecosistemas frutícolas. Sozzi, G.(ed).
- Escalona, C., Alvarado, V., Monardes, M., Urbina, Z. y Martin, B. (2009). Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Publicación. 3311: 580.
- Espí, E., Calvo, M., Fontecha, A. y Real, A. (2010). Desarrollo de Nuevos Materiales Plásticos para Agricultura: Proyecto Cenit Mediodía. Revista de Plásticos Modernos. 100(649): 108-118.
- Fornaris, G. J. (2007). Características de la planta. In *Conjunto tecnológico para la producción de tomate de ensalada*, 120: Universidad de Puerto Rico, (Recinto de Mayagüez), Colegio Ciencias Agrícolas, Estación Experimental Agrícola.
- Guzmán, P. (2000). Respuesta fisiológica y control ambiental. In *memoria del curso internacional de ingeniería, manejo y operación de invernaderos para la producción intensiva de hortalizas. Instituto nacional de capacitación para la productividad agrícola (INCAPA, SC)*, 21-26.
- Heuvelink, E. y Dorais, M. (2005). Crop growth and yield. CROP PRODUCTION SCIENCE IN HORTICULTURE. 13: 85.
- Ho, L. y Hewitt, J. (1986). Fruit development. In: The Tomato Crop. New York. Chapman and Hall.
- hortalizas.com. (2015). Impacto de temperaturas extremas en el tomate. En. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/impacto-de-temperaturas-extremas-en-el-tomate/>. [accesado octubre 2015].

- Horticom. (2015). Radiación en el invernadero. En. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/72/058/72058.pdf>. [accesado octubre 2015].
- Hunt, R. (1978). Plant growth analysis.,(Edward Arnold Limited: London). 67.
- Hunt, R. (1982). Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Ltd.
- Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. Encyclopaedia of applied plant sciences. Academic Press, Londres. 579-588.
- Iglesias, N. y Muñoz, A. (2007). Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. Horticultura Argentina. 26(60): 10-16.
- Lamont, W. J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. HortTechnology. 15(3): 477-481.
- Larcher, W. (2003). Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media.
- Lee, D. W., Oberbauer, S. F., Johnson, P., Krishnapilay, B., Mansor, M., Mohamad, H. y Yap, S. K. (2000). Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. American Journal of Botany. 87(4): 447-455.
- Li, X., Chen, W. y Li, Y. (2012). Study on photosynthetic characteristics of blueberry in greenhouse. Acta Horticulturae. 926: 315-320.
- López, G. J. (1998). Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. En: tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA). 15-29.

- Lorenzo, P. (2001). Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Caja Rural de Almería.
- Lorenzo, P. (2012). El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA). 3: 23-44.
- Mantallana, G. y Montero, C. (2001). Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. 2 ed. E. Mundi-Prensa, editor. España. Reimpresión.
- Marín, P., Valera, D., Moreno, M., Molina-Aiz, F., López, A. y Peña, A. (2014). Influencia de diferentes tipos de estructuras de invernadero, mallas anti-insectos y técnicas de control climático, sobre la fotosíntesis y la transpiración de plantas de tomate.
- Matthews, M. A. (2004). Growth and physiology of the grapevine. *Viticulture & Enology* 110. University of California, Davis 6. Fundamentals of light. Environmental Control of photosynthesis. 67-69.
- Mexicano, E. T. (2005). PC-020-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "mexico calidad suprema".
- Montero, J. I. (2012). Desarrollo de estructuras para invernaderos. Cuadernos de estudios agroalimentarios. (3): 45-70.
- Mora-Aguilar, R., Ortiz-Cereceres, J., Rivera-Peña, A., Mendoza-Castillo, M., Colinas-León, M. T. y Lozoya-Saldaña, H. (2006). Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(1): 85-94.
- Muñoz, R. (2003). La producción de hortalizas bajo invernadero en México. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. JZ Castellanos, JJ Muñoz R (eds). INTAGRI. México. pp. 14-16.
- Noreña, J. E. J., Rodríguez, V. P. y Aguilar, P. A. A. (2013a). Factores climáticos y su influencia en la producción de tomate. In *Tecnología para el Cultivo de Tomate Bajo Condiciones Protegidas*, 140-164.

- Noreña, J. E. J., Rodríguez, V. P., Aguilar, P. A. A., Restrepo, J. F. y Felipe, J. (2013b). Control climático bajo condiciones protegidas. In *Tecnología para el cultivo del tomate bajo condiciones protegidas*, 57-92.
- Noreña, J. E. J., Rodríguez, V. P., Aguilar, P. A. A., Restrepo, J. F. y Felipe, J. (2013c). Producción bajo condiciones protegidas.
- Ocaña, R. C. (2004). Ventajas competitivas y comparativas. El tomate en México y Estados Unidos. En: *Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas*. 8: 45-48.
- Oliveira, C. A. D. S. (2000). Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(5): 940-950.
- Ordoñez, N. (2010). Agricultura Protegida en México. *Revista Tecno Agro (Avances Tecnológicos y Agrícolas)*. 54: 1-3.
- Ortiz, V. I. C. (2014). Efecto de la topología en el rendimiento, calidad y rentabilidad del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) en un sistema de producción bajo invernadero.
- Otazú, V. (2010). Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía. International Potato Center.
- Peña, P. A. (2003). Evaluación de dos sistemas de producción del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. h. Gabriela) bajo condiciones de invernadero. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Pérez, R. H. y Cortés, D. P. C. (2007). Simulación y control de la temperatura dentro de un invernadero. 86 Bogotá D.C. : Trabajo de Grado Universidad de la Salle.
- Picken, A. J. F. (1984). A review of pollination and fruit set in the tomato. *J. Hort. Science*. 59(1): 1-13.

- Quero, P. J. L., Marañón, T. y Villar, M. R. (2004). Tasas de fotosíntesis en plántulas de alcornoque y roble en distintos micrositos dentro del sotobosque. Almoraima. Revista de estudios campogibraltareños. 31: 101-110.
- Quezada, M. M. R. (2012). Comunicación personal. Saltillo, Coahuila, Mexico: Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Raffo, M. y Iglesias, N. (2004). Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. Revista de investigaciones agropecuarias. 33: 29-42.
- Rajlin, R. (2004). Cultivo de tomate en umbráculos. Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros. (174): 56-59.
- Ramírez-Godina, F., Robledo-Torres, V., Foroughbakhch-Pournavab, R., Benavides-Mendoza, A. y Alvarado-Vázquez, M. A. (2013). Viabilidad de polen, densidad y tamaño de estomas en autotetraploides y diploides de *Physalis ixocarpa*. Botanical Sciences. 91: 11-18.
- Ramírez, N. B. (2012). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de pepino (*cucumis sativus* L.). Tesis de Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Rojas, S. E. L. (2015). Ubicación del campo experimental. En. Disponible en: <https://www.google.com.mx/maps/place/Centro+De+Investigaci%C3%B3n+En+Qu%C3%ADmica+Aplicada/@25.4605716,-100.9692168,173m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0x9d40768747a87508>. [accesado Mayo 2015].
- Samaniego, C. E., Quezada Martín, M. R., de la Rosa Ibarra, M., Munguía López, J., Benavides Mendoza, A. y Ibarra Jiménez, L. (2002). Producción de plántula de tomate y pimiento

con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrociencia. 36(3): 305-318.

Seminis. (2015). Descripción de la variedad "Yigido". En. Disponible en: <http://www.seminis.com/global/ar/products/Pages/TomateDRW7742.aspx>. [accesado Septiembre 2014].

SIAP, S. (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/avance-de-siembras-y-cosechas-por-cultivo/>. [accesado Mayo 2015].

USDA, F. (2015). Mexico Tomato Annual, GAIN Report Numer MX1044 10.

Villarreal, Q. J. A. (2005). Apuntes de la materia de botánica. Buenavista, saltillo, Coahuila Mexico. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Zeidan, O. (2005). Tomato production under protected conditions. Israel: Mashav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. 99.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Tasa de Asimilación Neta (TAN), con análisis de varianza y su significancia de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

TAN g.m ⁻² .día ⁻¹			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	3.48 a	3.14 a	4.15 a
T2	1.67 b	2.57 a	5.27 a
T3	2.68 ab	2.23 a	4.77 a
T4	2.55 ab	1.95 a	3.82 ab
T5	2.49 ab	2.02 a	1.88 b
C.V.	31.35	45.42	32.91
	NS	NS	*

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 2. Índice de Área Foliar (IAF) con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

IAF adimensional			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	1496.61 bc	2038.30 b	1755.30 a
T2	1676.01 b	2126.33 b	1840.95 a
T3	2614.07 a	3002.53 a	1821.82 a
T4	1679.25 b	2098.93 b	1939.25 a
T5	1106.94 c	1746.94 b	1835.62 a
C.V.	21.47	18.9	20.35
	**	**	NS

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 3. Relación de Área Foliar (RAF) con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

RAF cm ⁻² .g ⁻¹			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	90.30 c	62.7 b	28.00 b
T2	93.06 c	71.8 b	31.68 b
T3	110.46 b	72.0 b	24.28 b
T4	118.54 b	77.8 b	36.90 b
T5	142.60 a	100.9 a	54.23 a
C.V.	9.29	15.72	26.95
	**	*	**

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 4. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

TCC g.cm⁻² día⁻¹			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	0.00067 ab	0.00080 ab	0.00097 a
T2	0.00039 b	0.00073 ab	0.00122 a
T3	0.00090 a	0.00089 a	0.00117 a
T4	0.00058 ab	0.00052 b	0.00099 a
T5	0.00034 b	0.00048 b	0.00046 b
C.V.	41.7	33.42	27.78
	*	NS	**

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 5. Relación de Peso Foliar (RPF), con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

RPF g de hoja			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	0.4678 ab	0.3882 a	0.2070 abc
T2	0.4490 b	0.3521 a	0.1862 bc
T3	0.4685 ab	0.3551 a	0.1613 c
T4	0.4719 a	0.3797 a	0.2159 ab
T5	0.4691 ab	0.4053 a	0.2545 a
C.V.	3.08	7.98	15.41
	NS	NS	*

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 6. Área Foliar Especifica (AFE), con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

AFE cm⁻². g⁻¹			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	193.03 d	154.52 b	141.65 c
T2	207.82 cd	197.43 b	163.22 bc
T3	236.94 bc	191.10 b	157.28 bc
T4	251.40 b	198.92 ab	181.73 b
T5	303.87 a	244.38 a	222.53 a
C.V.	9.92	15.3	14.38
	**	*	**

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.

Anexo 7. Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto (IECfr), con análisis de varianza y su significancia, de un cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de bloqueo de radiación.

IECfr g.m⁻².día⁻¹			
Tratamiento	94 DDT	138 DDT	198 DDT
T1	0.236 a	1.470 a	2.745 ab
T2	0.148 ab	1.220 a	3.320 a
T3	0.210 a	1.562 a	4.456 a
T4	0.096 ab	0.669 a	2.857 ab
T5	0.036 b	0.751 a	1.134 b
C.V.	71.29	85.67	42.72
	NS	NS	*

C.V.= Coeficiente de variación; NS = Diferencia no significativa; * = Diferencia significativa (p=0.05); Medias seguidas con la misma letra, en la columna son estadísticamente iguales.