

**EFFECTO DE TRES PELÍCULAS PLÁSTICAS SOBRE EL
MICROCLIMA DEL INVERNADERO Y EL COMPORTAMIENTO
AGRONÓMICO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Mill.**

SABRINA CORRALES CARVAJAL

**Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en
Agronomía**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

2010

**EFFECTO DE TRES PELÍCULAS PLÁSTICAS SOBRE EL
MICROCLIMA DEL INVERNADERO Y EL COMPORTAMIENTO
AGRONÓMICO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Mill.**

SABRINA CORRALES CARVAJAL

**Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en
Agronomía**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMIA**

2010

o CA

EFECTO DE TRES PELÍCULAS PLÁSTICAS SOBRE EL MICROCLIMA DEL INVERNADERO Y EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Mill.

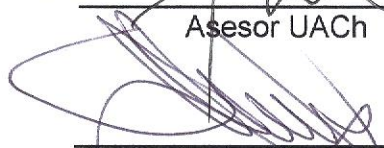
SABRINA CORRALES CARVAJAL

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Efraín Contreras Magaña PhD.


Asesor UACH

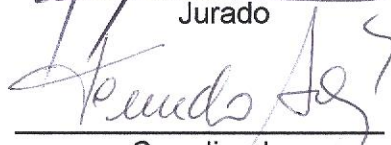
Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas. Lic.


Asesor ITCR

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.


Jurado

Ing. Agr. Fernando Gómez Sánchez, MAE.


Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.


Director
Escuela de Agronomía

2010

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso porque solo él me dio la fortaleza para salir adelante y continuar a pesar de todas las dificultades que se me presentaron en el camino

A mis padres por su esfuerzo y sacrificio para darme siempre lo mejor.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Efraín Contreras Magaña por su asesoramiento en el presente trabajo y acertadas correcciones en el mismo.

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de conocer un país maravilloso como lo es México y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar nuevos conocimientos.

Al Ing. Francisco Suazo por su ayuda incondicional en el campo experimental para poder realizar el presente trabajo.

A Xochitl y Don Teodoro por sus consejos y porque siempre estuvieron dispuestos a darme una mano en mi trabajo.

A la “banda” (Moreno, Cecile, Chloe, Silvio, Dieguito, Aldo, Carlos) porque siempre estuvimos unidos en las buenas y en las malas y me alentaron y ayudaron a continuar y terminar mi trabajo.

A todos aquellos que en su momento me prestaron ayuda para realizar los trabajos de campo y recolección de datos.

A mis compañeros del Tec que durante todos los años de estudio me brindaron su amistad y cariño y nos dimos apoyo entre todos para concluir esta etapa de nuestras vidas.

Y finalmente a los profesores del Tec que durante todos estos años se preocuparon por darnos la mejor ecuación agropecuaria que es la que nos servirá como bases en el futuro profesional.

RECONOCIMIENTO

Reconocimiento especial a:

Dr., **Felipe Sánchez del Castillo** y el Dr. **Esaú del Carmen Moreno Pérez**, por su apoyo al facilitar el lugar y los materiales para realizar el presente estudio.

Ms. C. **Natanel Magaña Lira** y Ms.C. **Martin Maquivar** por su ayuda en el análisis estadístico de los datos.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RECONOCIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
LISTA DE CUADROS	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	4
1.2. Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. El cultivo del tomate: aspectos generales	5
2.1.1. Origen e importancia	5
2.1.2. Clasificación taxonómica	5
2.1.3. Descripción botánica	5
2.1.3.1. Raíz.....	5
2.1.3.2. Tallo	6
2.1.3.3. Hojas	6
2.1.3.4. Flores e inflorescencia	6
2.1.3.5. Frutos.....	7
2.1.4. Requerimientos ambientales	7
2.1.4.1. Luz	7
2.1.4.2. Temperatura.....	10
2.1.4.3. Humedad Relativa.....	10
2.1.4.4. CO ₂	11
2.1.4.5. Integral térmica	11
2.1.5. El cultivo del tomate bajo invernadero y su manejo	12
2.1.5.1. Tutorado.....	13
2.1.5.2. Poda.....	14
2.1.5.3. Polinización	14
2.1.6. Plagas y enfermedades	14
2.1.6.1. Enfermedades bacterianas	15
2.1.6.2. Enfermedades fungosas	16

2.1.6.3.	Enfermedades causadas por virus	17
2.1.6.4.	Plagas	18
2.2.	Hidroponía.....	19
2.2.1.	Concepto	19
2.2.2.	Contenedores	20
2.2.3.	Sustratos hidropónicos	20
2.2.4.	Solución nutritiva	22
2.3.	Invernaderos	22
2.3.1.	Concepto	22
2.3.2.	Ventajas y desventajas de la producción en invernadero	23
2.3.3.	Estructura	23
2.3.4.	Cubiertas de invernadero.....	23
2.3.4.1.	Propiedades de distintos materiales de cubierta.....	24
2.3.4.2.	Diferentes materiales empelados para cubiertas de invernadero.....	25
2.3.4.3.	Materiales que se adicionan a los plásticos para crear resistencias.....	26
2.3.4.4.	Cubiertas antiplaga	26
2.3.4.5.	Cubiertas que interceptan radiación.....	27
2.3.4.6.	Cubiertas difusoras de radiación.....	27
2.3.4.7.	Cubiertas impermeables a la radiación de onda larga	27
2.3.4.8.	Cubiertas con propiedades diversas	27
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1.	Localización del estudio	29
3.2.	Definición del área experimental	29
3.3.	Tratamientos	29
3.4.	Descripción de los tratamientos	29
3.5.	Parcela útil.....	30
3.6.	Material a evaluar.....	30
3.7.	Variables del ambiente dentro del invernadero	31
3.8.	Variables sobre la fisiología del cultivo.....	31
3.9.	Toma de datos de las variables.....	32
3.9.1.	Porcentaje de luz transmitida al interior (instantánea y promedio del día).....	32
3.9.2.	Porcentaje de dispersión de luz (instantánea y promedio del día)	32
3.9.3.	Radiación solar acumulada por día (exterior e interior)	32
3.9.4.	Radiación media ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$).....	32

3.9.5. Radiación Ultravioleta.....	32
3.9.6. Temperatura y humedad relativa: mínimas, medias y máximas diarias en el interior.....	33
3.9.7. Temperatura y humedad relativa: mínimas, medias y máximas diarias en el exterior.....	33
3.9.8. Integral térmica diaria interior y exterior.....	33
3.10. Variables sobre la fisiología de la planta.....	34
3.10.1. Altura de planta.....	34
3.10.2. Grosor de tallo.....	34
3.10.3. Área foliar de la planta.....	34
3.10.4. Biomasa de la planta.....	35
3.10.5. Rendimiento por planta.....	36
3.10.6. Tamaño de fruto.....	36
3.10.7. Peso medio de fruto por categoría.....	37
3.11. Manejo general del cultivo a evaluar.....	37
3.11.1. Frecuencia de riego.....	37
3.11.2. Control de plagas.....	37
3.11.3. Solución nutritiva.....	37
3.12. Diseño experimental.....	39
3.13. Modelo experimental.....	39
3.14. Análisis de datos:.....	39
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Análisis de las propiedades de las cubiertas plásticas en relación a la radiación solar.....	40
4.2. Análisis de Temperatura y Humedad Relativa.....	42
4.2.1. Temperatura.....	42
4.2.2. Humedad Relativa.....	48
4.3. Integral térmica.....	51
4.4. Interacción entre Temperatura y Humedad Relativa.....	52
4.5. Temperaturas y Humedad Relativa durante la noche.....	56
4.6. Análisis de las variables del cultivo.....	58
4.6.1. Altura de la planta.....	59
4.6.2. Grosor de tallo.....	60
4.6.3. Biomasa de las diferentes partes de la planta.....	61
4.6.4. Área foliar.....	63
4.6.5. Rendimiento por planta.....	64
4.6.6. Peso medio por fruto.....	65
4.6.7. Días a inicio y fin de cosecha.....	65
4.6.8. Problemas fitosanitarios presentados en las plantas.....	69
5. CONCLUSIONES.....	71

6. RECOMENDACIONES	73
7. BIBLIOGRAFÍA	74
8. ANEXOS	79

LISTA DE CUADROS

Número	Título	Página
1	Valores de la constante térmica por el método directo para algunas gramíneas.....	12
2	Elementos necesarios a aportar en una solución nutritiva completa.....	38
3	Propiedades de tres cubiertas plásticas respecto a transmisión y difusión de radiación solar.....	40
4	Cuadrados medios de análisis de varianza para las variables de Temperatura y Humedad Relativa (máxima, media, mínima).....	42
5	Comparación de medias de la temperatura diurna al colocar tratamientos con diferentes plásticos.....	43
6	Comparación de medias de la humedad relativa diurna entre tratamientos plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior.....	48
7	Integral térmica (días grado) en el periodo del 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	51
8	Comparación de medias de temperatura de humedad relativa nocturnas para el periodo de evaluación.....	56
9	Cuadrados medios de análisis de varianza para las variables del cultivo.....	58
10	Comparación de medias de altura de plantas de tomate, variedad imperial, creciendo bajo 3 tipos de cubierta plástica.....	59
11	Comparación de medias del grosor del tallo para las plantas de tomate, variedad imperial, creciendo bajo diferentes cubiertas plásticas.....	60

12	Comparación de medias del peso seco de hojas, tallos y frutos en el cultivo de tomate, variedad imperial, cultivado bajo tres diferentes cubiertas plásticas.....	62
13	Comparación de las medias de área foliar para el cultivo de tomate, bajo tres cubiertas plásticas diferentes.....	64
14	Comparación de las medias de la producción total por planta de tomate, variedad imperial, en tres diferentes plásticos.....	64
15	Promedio de peso de los frutos cosechados, de acuerdo a su clasificación según su diámetro ecuatorial.....	65
16	Número de frutos y su clasificación de acuerdo a su tamaño, colectados en el periodo de cosecha, para los tres tratamientos en 300 plantas cada uno.....	66

LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Página
1	Cubiertas plásticas utilizadas en la evaluación de cultivo de tomate.....	30
2	Temperaturas máximas registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	44
3	Temperaturas medias registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	46
4	Temperaturas mínimas registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	47
5	Humedad relativa máxima registrada por tratamiento durante el día, en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	49
6	Humedad relativa mínima registrada por tratamiento durante el día, en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.....	50
7	Comportamiento de la temperatura dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día despejado.....	52
8	Comportamiento de la humedad relativa dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día despejado.....	54
9	Comportamiento de la temperatura dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día nublado.....	55
10	Comportamiento de la humedad relativa dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día nublado.....	56

11	Producción total en 300 plantas, por tratamiento.....	68
12	Producción por tratamiento y por corte en 300 plantas durante el periodo de 15 de agosto al 15 de octubre de 2009.....	69

RESUMEN

El presente estudio se realizó en los meses de junio a octubre del año 2009 en la unidad de Invernaderos de Investigación del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, estado de México. Se evaluó el cultivo de tomate, variedad Imperial, tipo bola, en tres invernaderos con diferentes cubiertas plásticas que a su vez poseen características distintas de transmisión de luz y que generan diferentes condiciones dentro de los mismos. Los tratamientos evaluados fueron; T1: Cubierta plástica color verde (con complejo a base de níquel), T2: cubierta plástica color blanco (Tinuvín 494) y T3: cubierta plástica color amarillo (Smart Light RL 1000). Se encontró que el invernadero cubierto con plástico verde fue el que generó condiciones menos favorables para el cultivo al tener mayor sombreamiento debido a que sus plantas alcanzaron mayor altura con respecto a los otros tratamientos, presentando a los 120 días después del trasplante, alturas de 241,12 cm, mientras que el T2 y T3 solo tuvieron alturas de 224,37 cm y 216,58 cm respectivamente, las cuales fueron estadísticamente diferentes con respecto a los datos del T1. Esto se debió en parte a las condiciones de transmisión y difusión de luz (50.4 % y 80.7 % respectivamente) que se presentaron dentro del invernadero con plástico verde, además de esto también obtuvo el menor número de frutos a lo largo de las cosechas, para un total de 7792 frutos, incluidos todos los tamaños, mientras que los T2 y T3 alcanzaron 9715 y 8589 frutos totales, respectivamente. La menor acumulación de materia seca total fue también para el T1, tan solo 567,94 g, mientras que el plástico blanco (Tinuvín 494) fue el que mayor acumulación de materia seca tuvo (792,60 g) siendo el T3 el intermedio con 711, 61 g. La mejor y mayor producción por planta con respecto a los otros dos tratamientos fue para el T2, alcanzado 5,65 Kg por planta, seguido de T3 con 5, Kg y T1 con 4,07 Kg. Esto claramente señala que el T2 fue el que propició las condiciones más adecuadas para el desarrollo del cultivo; ya que la transmisión de luz fue la más alta (82.6 %) en comparación de los otros tratamientos (T1: 50.4 %, T3: 63.7 %). El tratamiento con cubierta plástico amarilla presentó un comportamiento intermedio en cuanto a las variables fisiológicas y de producción con respecto a los tratamientos con plástico blanco y plástico verde.

El plástico Tinuvín 494 de color blanco es el que mejores condiciones genera para el desarrollo del cultivo de tomate en el área de estudio y en la temporada que se llevó a cabo la evaluación viéndose reflejado en la alta producción que se obtuvo.

Palabras clave: invernadero, tomate, cubiertas plásticas.

ABSTRACT

Effect of three plastic films on the micro-environment of a green house and agronomic response of tomato (*Lycopersicon esculentum*)

The objective of the present study was to evaluate the effect of three plastic films used as green house covers on the agronomic response of the tomato crop (*Lycopersicon esculentum*) variety imperial. The present study was carried out in the research green house complex of the Horticulture Institute at the Autonomous University of Chapingo between June and October of 2009. Green houses were covered with three plastic films that allowed different light transmission and micro environments: green plastic film (T1, with a nickel compound); white plastic film (T2, Tinuvín 494) and a yellow plastic film (T3 Smart Light RL 1000). It was observed that the green house covered with the green plastic film (T1) induced less favorable environment conditions for the tomato due an increase of shading areas inside of the green house allowing a 50.4% of light transmission and 80.7% of light diffusion, and an increase of the height of the plants after 120 days of transplantation (241.12 cm) in comparison T2 (224.37 ± cm) and T3 (216.58 cm). Additionally, T1 showed lesser number of fruits across harvests (7792) than T2 (9715) and T3 (8589). Similarly, lesser dry matter accumulation was observed in T1 (567.94 g) than T2 (792.60 g) and T3 (711.61 g). Overall production per plant was higher in the T1 (5.65 kg) than in T3 (5.0 kg) and T1 (4.07 kg). These data suggested that T2 improved the production conditions and development of the plants in part due by a better light transmission (82.6%) Plants exposed to a Smart light RL 1000 plastic cover showed an intermediate response in terms of physiological variables and productive variables. Under the circumstances of the present study, these data suggest that Tinuvín 494 (white plastic cover) induced better micro-environment conditions favorable to the tomato development and promoted a higher production.

Key words: Green house, tomato, plastic films.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo que principal que se persigue con el uso de invernaderos es el de tener control sobre el comportamiento de los factores ambientales que se manejan dentro de este sistema de producción; éste control cobra mucha importancia en épocas del año donde las condiciones climatológicas son muy adversas y no se puede producir a campo abierto. Entre los factores que se controlan con invernadero y que influyen de manera determinante sobre el comportamiento de la planta destacan la luz de forma indirecta, la temperatura, la humedad relativa y la composición del aire; además del manejo de la fertilización se tiene influencia sobre agua y oxigenación de raíces. La modificación del ambiente dentro del invernadero se logra al colocar una cubierta lúcida, la cual debe permitir el paso de la radiación solar ya que ésta es necesaria para que las plantas realicen su fotosíntesis, al contar con un espacio cerrado y protegido el comportamiento de varios factores se ve modificado y estas modificaciones deberán ser favorables al cultivo (Gazit 1999).

Es así como las cubiertas plásticas son uno de los factores más importantes que influyen sobre las plantas, ya que puede causar efectos tanto positivos como negativos sobre las mismas debido a que es el material que las cubre y que modera el paso de la radiación; por ello es necesario conocer perfectamente las modificaciones que se provocarán en el ambiente ya que de ello depende el éxito o fracaso al emplear los plásticos en la agricultura.

Los plásticos tienen una gran importancia en el escenario agrícola y es una industria que ha crecido en los últimos años por su uso principalmente en invernaderos, pero que también se desarrolla para el uso en microtúneles, acolchados, mallas de sombreo, etc. (Díaz *et al.* 2001).

De igual forma, la producción alrededor del mundo bajo invernaderos crece constantemente, produciendo en su mayoría hortalizas y ornamentales con o sin hidroponía. Países europeos como España e Italia poseen la mayor superficie de cultivos en invernaderos. Sin embargo, países como México

tienen una cantidad considerable de territorio destinado a invernaderos tecnificados, en los cuales, estados como Sinaloa concentran la mayoría de su producción de tomate, la que es destinada tanto para mercado interno, como para la exportación, principalmente a Estados Unidos (Gil *et al.* 2003).

Aunque los cultivos que se siembran en ambiente protegido son muy variados, la producción de hortalizas tiene una gran importancia, como es el caso del pepino, el chile y el tomate principalmente. De hecho tomate, o jitomate, como se le conoce en México, representó en el ciclo 2006-2007, el 15 % (unas 700,000 ton.) del total de los 4, 5 millones de toneladas, del campo hortofrutícola, exportadas a Estados Unidos, lo cual lo posicionó en el cultivo de mayor importancia, seguido de sandía, limón y pepino entre otros y para el periodo 2007-2008 representó 18 % de las 4,929,899.00 toneladas exportadas, incluidas dentro de este valor las producciones de tomate tipo bola, roma, cherry y de invernadero. (CIDH 2009).

En cuanto a las variedades que principalmente se siembran y comercializan se encuentran las de tipo saladete y las de tipo bola. De acuerdo a datos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados, en el periodo 2000-2008 el precio del tomate bola osciló entre los \$ 6 y \$ 14 por kilogramo (pesos mexicanos) mientras que el saladete fue de \$ 4 a \$ 8 por kilogramo (pesos mexicanos; estos precios no incluyen los costos de empaque y transporte, que son de aproximadamente \$ 2.15 pesos mexicanos). Lo cual es un indicativo de la importancia económica que puede tener el tomate tipo bola, los precios son más altos por la asociación que el consumidor le da a estos frutos de provenir de invernaderos y de tener mayor calidad, lo cual aumenta la demanda y por ende el precio (Castellanos 2009).

Actualmente destaca la importancia que tienen las diferentes cubiertas de plástico que se están generando por la industria, ya que de manera constante salen al mercado distintos materiales con propiedades diversas; estas propiedades pueden ser de resistencia al razgado, propiedades ópticas, antiplagas, antigoteo, térmicas, entre otras. Ante estas circunstancias es necesario probar el comportamiento agronómico de cada material para tener

certeza de las modificaciones ambientales que se pueden lograr con cada material. Así dichas pruebas se deberán enfocar para cada cultivo en el que se pretenda utilizar la película plástica.

De esta manera, se han mencionado varios puntos de importancia en la producción hortícola protegida en México, que van desde la elección del tipo de cubierta plástica, las ventajas de cultivar en ambientes protegidos y la importancia económica del tomate tipo bola. Tomando esto como referencia la búsqueda de optimizar la producción en invernaderos, se ha desarrollado la siguiente investigación, con el propósito de generar información específica del uso de los plásticos y cómo influyen estos en el cultivo del tomate.

1.1. Objetivos

- **Objetivo general:** Evaluar el efecto de tres películas plásticas, utilizadas como cubiertas de invernadero, sobre el comportamiento agronómico del cultivo de tomate, variedad imperial.
- **Objetivos específicos:**
 - Evaluar las condiciones ambientales que generen las películas plásticas.
 - Evaluar el efecto de las tres cubiertas sobre el comportamiento fisiológico del cultivo.
 - Evaluar mediante parámetros productivos, el rendimiento del cultivo al colocarse bajo tres películas plásticas diferentes.

1.2. Hipótesis

El cultivo de tomate presentará comportamientos fisiológicos y productivos diferentes al exponerse a distintas cubiertas plásticas en invernadero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo del tomate: aspectos generales

2.1.1. Origen e importancia

Aunque se considera que el tomate es originario de Sudamérica, se data que el primer lugar donde se cultivó fue en México, es decir donde se dio su domesticación, y de ahí fue llevado a Europa en el siglo XVI y posteriormente a Estados Unidos en el siglo XVIII, sin embargo pasó casi un siglo para que fuera aceptado como comestible (Halfacre y Barden 1984).

De hecho en un principio los europeos consideraron a la planta de tomate como ornamental, debido a que en sus lugares de origen no se utilizaba como alimento, fue alrededor de 1800 que se dio su plantación con fines agrícolas y de ahí en adelante se incrementaron las zonas dedicadas a su cultivo, hasta llegar a ser una de las plantas hortícolas de mayor importancia en varios países del mundo (Huerres y Carballo 1988).

2.1.2. Clasificación taxonómica

Clase: Dicotyledoneas

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Subfamilia: Solanoideae

Tribu: Solaneae

Género: *Lycopersicon*

Especie: *Lycopersicon esculentum*

2.1.3. Descripción botánica

2.1.3.1. Raíz

El sistema radical del tomate está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Una sección transversal de la raíz principal pone de manifiesto la existencia de tres zonas claramente

diferenciadas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular (Nuez 2001).

2.1.3.2. Tallo

El tallo es erguido durante los primeros estadíos de desarrollo, pero pronto se tuerce a consecuencia del peso. Puede alcanzar hasta 2,5 metros de longitud, lo cual dependerá del número de racimos que se dejen en la planta (Rodríguez *et al.* 1997).

Su superficie es angulosa, provista de tricomas agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico. En sección presenta una epidermis provista de estomas, una corteza formada por parénquima y tejido de sostén en forma de anillo continuo, un límite impreciso entre la corteza y el cilindro central; y los tejidos conductores dispuestos en un círculo de haces liberoleñosos (Rodríguez *et al.* 1997).

2.1.3.3. Hojas

Las hojas del tomate son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 0.5 m de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta 8 grandes foliolos laterales, que pueden, a su vez, ser compuestos. Los foliolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Las hojas están recubiertas de tricomas del mismo que los del tallo. Las hojas del tomate son de tipo dorsiventral o bifacial (Nuez 2001).

2.1.3.4. Flores e inflorescencia

La flor es perfecta, regular e hipógina con igual número de pétalos y sépalos (cinco o más) los cuales se encuentran de forma helicoidal. El número de las flores es variable y el conjunto de las mismas se conoce como inflorescencia (Greyson y Sawhney 1972). Uno de los factores ambientales que principalmente afecta la floración es la temperatura, ya que a bajas temperaturas aumenta la ramificación de las mismas (Aung 1976).

2.1.3.5. Frutos

Muchos aspectos son los que influyen sobre la calidad y tamaño de fruto, desde su interior, como lo es el número de semillas y lóculos, hasta la posición del fruto en el ramo y la llegada de fotoasimilados provenientes de las hojas. También es importante mencionar que el fruto de tomate es de tipo climatérico, es decir que al llegar la etapa de maduración fisiológica se va a producir un aumento tanto en la respiración como en la producción de etileno, es por eso que a partir de esa etapa el envejecimiento del fruto va a tener mayor rapidez ya que enzimas como la poligalacturonasa y celulasa causan el ablandamiento de las paredes (Cadenas *et al.* 2008).

2.1.4. Requerimientos ambientales

2.1.4.1. Luz

La radiación solar puede ser principalmente de dos formas: directa y difusa. La primera se manifiesta en línea recta y es la que proviene del sol, la segunda en cambio, es la luz que ha sido reflejada por los cuerpos de la tierra, ya sean nubes, topografía, y en el caso de los invernaderos, los plásticos. De esta manera la radiación difusa va siempre en varias direcciones, contrario a la directa, y esta característica le permite llegar mejor al dosel foliar de las plantas, ya que con la luz directa se produce una sombra de las hojas superiores hacia las inferiores, lo cual hace que esta no penetre totalmente en la vegetación (Hernández *et al.* 2002). Algunos aspectos importantes de la misma se mencionan a continuación:

- **El efecto de la intensidad**

El aporte de energía solar, ya sea directa o indirectamente, va a depender del grado de turbidez o transparencia de la atmósfera, así como también de la elevación del sol. Esto quiere decir, si durante el día el cielo está despejado la intensidad de radiación será muy regular, pero si existen presencia de nubes está variará mucho. Esta intensidad también se ve influenciada por la época del año, siendo mayor en los meses de verano que en los que se presenta el invierno (Castilla 2005).

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 3000 a 6000 lux (Bastida 2006).

- **El efecto de la calidad**

Para realizar el vital proceso de la fotosíntesis, no toda la luz es útil. La luz se clasifica de acuerdo a su longitud de onda (nm) y esta clasificación es la que se conoce como la calidad. Por ejemplo la luz Ultravioleta (uv) posee una corta longitud de onda (menor a 325 nm). La luz visible se encuentra en longitudes de onda entre los 400 y 700 nm. La longitud de onda más corta de luz visible ocurre en violeta. La luz azul, verde, amarillo, anaranjado y roja ocurre alrededor de las longitudes de onda de 460, 510, 610 y 650 nm, respectivamente. La luz roja lejana (700-750 nm) se produce en el límite de la percepción visual y tiene una influencia sobre las plantas a través de la fotosíntesis. La energía infrarroja se produce en los mayores rangos de longitud de onda y no participa en los procesos de la planta. Es principalmente el espectro visible de la luz el que es usado en la fotosíntesis (Nelson 1985).

Las plantas muestran una respuesta fisiológica de acuerdo a las distintas longitudes de onda. El color de un material, depende de la longitud de onda que refleje, así por ejemplo las películas de plástico de colores retienen un tipo de longitud de onda mientras dejan pasar otras, así una película roja está reflejando ese color porque absorbe los demás y deja pasar el rojo. De esta forma, dentro de un invernadero es posible manejar la calidad de la luz, empleando diferentes colores de películas plásticas para cubrir los mismos (Bastida *et al.* 2002).

- **El efecto de la duración**

La cantidad de luz está determinada por las horas de luz y por la cantidad de la misma que pueda atravesar los diferentes obstáculos para llegar a la tierra, como lo son las nubes, sombra de árboles, construcciones entre otras. La

duración de la luz se relaciona estrechamente con el fotoperiodo, ya que las plantas tienen diferentes formas de responder ante las horas luz (Bastida y Ramírez 2002).

- **El efecto de la luz en el cultivo de tomate**

La luz solar es el factor determinante en la producción bajo condiciones de invernadero. Sin embargo, existe gran confusión acerca del comportamiento y terminología relativos a la radiación más que en cualquier otro factor. A nivel práctico, el conocimiento y aplicación del mismo en la industria es leve. En el control del crecimiento de las plantas existen al menos cinco tipos de información que se pueden derivar del ambiente de radiación: 1) cantidad de radiación, 2) calidad de radiación, 3) dirección de radiación, 4) duración de la radiación (transición luz-oscuridad), y 5) la polarización (Smith 1986, citado por Hanan 1998). De estos cinco, la industria utiliza solo el 1 y 4 para determinar decisiones en el manejo.

En la agricultura el fraccionamiento de los componentes de la luz y su estudio cobran una gran importancia porque de ello depende el buen comportamiento de un cultivo y el cultivo del jitomate no es la excepción, ya que se considera que la radiación integral diaria es mucho más importante para su crecimiento que la calidad de la luz y el fotoperiodo, es por esto que las condiciones de limpieza así como el tipo de material de la cubierta influyen directamente sobre este factor, también se debe considerar el diseño y orientación del invernadero (Castellanos 2009).

El nivel de luz requerida por el cultivo de jitomate dependerá de la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta, en condiciones ambientales como las reportadas en Chapingo, México (19° 21 N, 98° 53 W y 2,250 msnm), para la producción de tomate en invernadero en etapa de plántula (hasta la cuarta hoja verdadera) se reporta una intensidad máxima de 2,500 pies bujía y esta aumentará hasta 4,000 pies bujía al momento de la aparición del primer racimo floral (Regalado 2002).

2.1.4.2. Temperatura

La temperatura es una parte importante en el desarrollo del cultivo del tomate. Esta influye en la tasa fotosintética y de esta forma en la de crecimiento, también afecta la germinación, la forma de la floración del racimo, el número de flores, el desarrollo y viabilidad del polen, la calidad del fruto, entre otros (Williams 1973).

Se recomienda para el cultivo de tomate y pimiento mantener la temperatura por debajo de los 30 °C durante el día (Bautista 2008).

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. Cuando se presentan días nublados, es inútil incrementar la temperatura por la noche, esto porque la baja intensidad lumínica que imperó durante el día podría limitar la tasa fotosintética y cualquier calentamiento adicional aplicado puede ocasionar efectos no benéficos a la planta. Cuando hay días despejados la luz no es limitante para la fotosíntesis, por lo cual si la temperatura no se incrementa, el calor excesivo puede llegar a ser el factor limitante para la fotosíntesis. Aun en días nublados el rango de fotosíntesis incrementará con el enriquecimiento de CO₂ de la atmósfera del invernadero (Nelson 1991).

El cultivo del tomate requiere de cambios de temperatura entre el día y la noche, Gómez y Casanova (2000) recomiendan que debe de haber una diferencia de al menos 6 °C entre el día y la noche para que se dé un buen crecimiento de las plantas y que la temperatura nocturna debe estar alrededor de los 15 °C.

2.1.4.3. Humedad Relativa

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. Otro aspecto a considerar es la ventilación, ya que por tratarse de invernaderos, esta influye en factores como la temperatura, humedad relativa y el flujo de aire, entre otras. El manejo adecuado de la ventilación permitirá que

el aire circule mejor y que se produzca un microclima adecuado para el desarrollo de las plantas (Gil *et al.* 2003).

Cuando hay un exceso de humedad en el ambiente, se producen malformaciones en los frutos de jitomate debido a fallas en la fecundación, esto porque los granos de polen se aglutinan y al caer en el estigma de la flor no logran fecundar los óvulos de la misma (Canchola 2001).

2.1.4.4. CO₂

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.

En el ambiente externo el nivel de CO₂ es de 300 ppm; sin embargo, dentro de un invernadero este valor es menor durante el día con valores entre los 180 y 250 ppm y elevándose hasta las 500 ppm en la noche. Como consecuencia del aumento de la concentración de CO₂ se produce un aumento en la fotosíntesis, el inconveniente del manejo del CO₂ en un invernadero es que suele escaparse cuando se ventila, sin embargo, para solucionar este tipo de problemas se puede recurrir a estrategias como el mantener una buena ventilación que permita la renovación del aire por minuto, también el aporte de CO₂ mediante la combustión de hidrocarburos (Bastida 2006)

2.1.4.5. Integral térmica

Todas las plantas tienen requerimientos globales en calor para así poder completar su ciclo vegetativo. La integral térmica representa una forma indirecta para medir las necesidades de calor de las plantas. La integral térmica se define como la suma de las diferencias entre la temperatura media diaria y el cero vegetativo de la planta que se quiera evaluar, para todos y cada uno de los días en que se desarrolla su ciclo (Maroto 2008).

Sin embargo existen variadas fórmulas para su cálculo, de acuerdo a los datos que se tenga al alcance. Por ejemplo existe el método indirecto, que se basa

en las temperaturas diarias mayores a 0 °C, el método de días grado, el cual involucra tanto las temperaturas mínimas como las máximas, entre otros.

Algunos datos reportados, en unidades térmicas, para el método directo son los que se enuncian en el cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de la constante térmica por el método directo para algunas gramíneas.

Cultivo	Constante Térmica (método directo)
Cebada	1700 °C
Trigo	2000 °C
Maíz	2500 °C

Fuente: Defina y Ravelo, 1975

Lo que se logra entender con estos valores es el poder entender porque los ciclos de duración de un cultivo varían en diferentes áreas, ya que por ejemplo, el maíz se retarda en donde hay condiciones más frías que donde prevalecen condiciones de más alta temperatura (Ortiz 1984).

Otro uso que se le da a la integral térmica es para el manejo de diferentes plagas. Como fue el caso de Barrientos *et al.* 1998, quienes estudiaron la temperatura base y constante térmica para el desarrollo de la polilla de tomate. En este trabajo se obtuvo que para el desarrollo desde ovipostura hasta emergencia de adultos, la integral térmica promedio fue de 453,6 grados días (grados D), para el desarrollo de huevo fue 103,8 grados D, para las larvas 238,5 grados D y para crisálidas 117,3 grados D, con esa información, además del empleo de otras medidas de control, se pueden hacer aplicaciones de insecticidas más oportunas y eficaces, y con ello reducir el número de las mismas.

2.1.5. El cultivo del tomate bajo invernadero y su manejo

Las plantas que se siembren bajo invernadero deben prepararse con anterioridad, para que al momento del transplante tengan un tallo sólido, no

desarrollado en exceso y bien equilibrado con las hojas. El trasplante debe realizarse antes de que se dé el inicio de la floración. Es importante sostener las plantas de un hilo y eliminar los brotes laterales sobrantes. Variedades que sean de un desarrollo indeterminado se les debe de dejar un solo tallo y las de semideterminado dos tallos (Anderlini 1983).

En países como México, la demanda interna del cultivo de tomate puede abastecerse con las producciones a campo abierto, sin embargo existen épocas en que la producción no es suficiente, principalmente en los periodos julio-setiembre y diciembre-enero, lo cual representa dos periodos de tiempo con excelentes condiciones para la producción hidropónica de tomate producido en invernadero. Esta es una opción que conforme avanza el tiempo resulta ser más atractiva para los productores ya que no existen los riesgos e incertidumbre que si se presenta en las plantaciones a campo abierto, además de que se da una utilización más eficiente de los recursos (Gil *et al.* 2003).

2.1.5.1. Tutorado

En el cultivo de tomate, el tutorado es de gran importancia, ya que este permite un adecuado crecimiento de las plantas, disminuye las posibilidades que los frutos se dañen al estar en contacto con el sustrato y facilita labores de poda, aplicaciones y cosecha (Gil *et al.* 2003).

Mediante el tutorado, se trata de realizar un amarre de las plantas que permita tener una buena posición de las mismas así como mejorar la distribución del follaje. El amarre de la planta debe realizarse de forma tal que el hilo o rafia (depende del material a utilizar) quede flojo para que no pueda ocasionar lesiones en la planta. El número de amarres que se pueden realizar va a ir de acuerdo con la distancia, tipo de tutoraje y poda y pueden ser de dos a diez amarres por planta (Van Haeff 1990).

Castellanos 2009 menciona que esta práctica debe de iniciarse cuando las plantas alcancen alturas entre los 10 a 20 cm., esto para evitar que se inclinen, además puede auxiliarse con el uso de anillos de plástico para agilizar la tarea.

2.1.5.2. Poda

Esta práctica consiste en eliminar de la planta los brotes que se van desarrollando en las axilas de las hojas a lo largo del ciclo, éstos son conocidos también como “hijos” o “chupones”. Generalmente se practican las podas a un tallo o a dos tallos, la primera consiste en eliminar los brotes axilares del tallo principal y en el segundo se eliminan de igual forma los brotes del tallo principal pero se conserva el más vigoroso que este situado debajo del primer racimo, esto con el fin de obtener un tallo secundario y productivo (Gómez *et al.* 2000).

2.1.5.3. Polinización

Debido a que la planta del tomate es del tipo autógama (se fecunda con su propio polen) y dentro de un invernadero se carece de las condiciones de viento adecuadas que normalmente se presentan en campo y que ayudan a propiciar la fecundación con el movimiento de la flor; se debe de generar el ambiente adecuado para que se lleve a cabo dicho proceso. Es importante que la temperatura esté entre 21-24 °C, con una Humedad Relativa entre 30-80 % (Sanz *et al.* 2003).

Además de esto debe de provocarse el movimiento del aire al menos cada dos días en el momento en que las flores sean receptivas, estas prácticas pueden llevarse a cabo moviendo las flores (Resh 1992).

Algunos autores difieren sobre la hora en que deben realizarse estas prácticas, ya que debe de hacerse cuando el polen esté viable, de lo contrario no habrá ningún efecto sobre la polinización. Gil *et al* (2003) recomiendan sacudir las plantas todos los días entre 10:00 y 12:00 hrs.

2.1.6. Plagas y enfermedades

En cuanto al factor fitosanitario de las plantas de jitomate, se debe de tener un estricto control, principalmente en áreas de ambiente controlado (invernaderos), ya que tanto enfermedades como plagas pueden atacar de una manera más agresiva y desarrollarse más rápidamente al encontrar las condiciones óptimas para su desarrollo.

Es importante señalar cuáles son las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo del tomate, así como el control más adecuado para minimizar sus daños. Las enfermedades se subdividen en tres grupos de acuerdo a su origen: Bacterianas, Fungosas y Virosas. De estas las principales se detallan a continuación:

2.1.6.1. Enfermedades bacterianas

Cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*)

Esta bacteria es de importancia actual, ya que ha causado severas pérdidas en sembradíos de tomate en invernadero en México y el mundo. El problema de su rápida diseminación se ha dado por el uso de plántulas injertadas, ya que las condiciones de temperatura y humedad relativa para este procedimiento son las mismas para el desarrollo de la bacteria. *C.michiganensis* provoca que las plantas jóvenes se marchiten completa y repentinamente. Las hojas comienzan a presentar pequeñas áreas de tejido intervenal que se hacen hidrópicas de un verde opaco, luego se desecan y toman una coloración pardo clara (Castellanos 2009).

Las plantas afectadas pueden llegar a presentar retraso en el crecimiento o “enanismo”, que puede mostrar aparente recuperación en las primeras etapas de desarrollo. Los frutos presentan pequeñas lesiones necróticas rodeadas por un halo blanquecino (Bautista *et al* 2008).

Marchitamiento bacteriano (*Pseudomonas solanacearum*)

Esta bacteria se conserva en el suelo e infecta a la planta a través de las heridas, siendo favorecida cuando se presentan temperaturas entre 25-35 °C y una alta humedad ambiental (Reche 1991).

Cuando una planta es atacada por esta bacteria, sus síntomas se desarrollan con bastante rapidez, presentando un marchitamiento total de la planta, sin presencia de amarillamiento o moteado de las hojas. El organismo causal de esta enfermedad se encuentra en el suelo e infecta a las plantas a través de las

raíces o el tallo. La transmisión puede ocurrir al momento del transplante con plántulas contaminadas (Rodríguez *et al* 1989).

***Mancha bacteriana del tomate* (*Xanthomonas campestris*)**

Los síntomas de esta bacteria se presentan en hojas, vástagos, peciolo y el fruto. Pueden ocurrir puntos oscuros, hundidos y de consistencia acuosa. En frutos jóvenes se presentan puntos de color verde que tienen a tornarse marrones. Estos puntos en ocasiones pueden estar rodeados por un halo clorótico (Fernández 2009).

2.1.6.2. Enfermedades fúngicas

***Tizón Temprano* (*Alternaria solani*)**

Este hongo se presenta en tallo, hojas y frutos, su síntoma más sobresaliente, principalmente en hojas, es la aparición de manchas necróticas de color marrón oscuro, dentro de las cuales se puede observar anillos concéntricos de color negro (Nuez 2001).

Se transmite por conidios los cuales se dispersan por el viento o salpicaduras. La liberación de estos se favorece en condiciones secas. La máxima concentración de esporas en el aire se produce cuando la velocidad del viento es máxima y la humedad relativa mínima (Smith *et al.* 1992).

Dentro de las prácticas de manejo se recomienda el uso de semilla sana, prácticas sanitarias cuidadosas, rotaciones y aplicaciones de fungicidas. Se ha visto que la fumigación del suelo reduce el nivel de inóculo en restos de cosecha (McCarter *et al.* 1976).

***Tizón tardío* (*Phytophthora infestans*)**

Los síntomas de este organismo de origen fúngico se presentan casi en todos los órganos de la planta. En las hojas; aparecen manchas irregulares y si hay condiciones de alta humedad, en los márgenes de la lesión (en el envés) se puede apreciar los esporangios de color blanco grisáceo, los cuales conforme avanza la infección se torna de color negro (Bautista y Alvarado 2005).

Moho gris (Botrytis cinérea)

Este hongo puede atacar y colonizar donde se presenten heridas de los tejidos más viejos en las plantas. Se desarrolla fácilmente cuando las condiciones de temperatura son de 17 °C a 23 °C y humedad relativa de 95 %. Debido a esto se recomienda en los cultivos bajo invernadero airear las cubiertas para que se disminuya la higrometría dentro del mismo, deshojar las plantas para permitir la circulación del aire, así como podar las yemas axilares con mucho cuidado y cuando estas comiencen a brotar para que la herida causada a la planta sea del menor tamaño posible (Blancard 2002).

Cenicilla del tomate (Leveillula taurica, Erysiphe polygoni, Oidium lycopersicum)

Los síntomas de *L. taurica*, empiezan con la aparición de pequeñas manchas verdes amarillentas, casi circulares en el haz de las hojas atacadas, una vez que esto ocurre el centro de la lesión se torna café, producto de la deshidratación. Esto en condiciones favorables puede llegar a extenderse a toda la hoja, la cual al secarse completamente permanecerá un tiempo adherida al tallo antes de caer (Mendoza 1996).

Para el caso de *Erysiphe polygoni*, se produce un abundante desarrollo de moho blanco grisáceo sobre hojas y tallos. Los tejidos que son parasitados por este hongo no se necrosan. Normalmente no invaden los frutos. Las altas temperatura y el agua estancada favorecen su desarrollo. Se recomienda eliminar los restos de tomate tan pronto como se coseche (Latorre 1999).

2.1.6.3. Enfermedades causadas por virus

Virus del mosaico del tomate (ToMV)

Este virus es transmitido por medio de la semilla y por interacción mecánica. El síntoma en las hojas se da con la formación de un mosaico con manchas verde claro oscuro o amarillo verde de contornos irregulares y una reducción del crecimiento (Nuez 2001).

Si el contagio del virus ocurre en época de floración, puede ocurrir un aborto total o parcial de las flores. En cuanto a los frutos, éstos presentan deformaciones y anillos concéntricos o patrones en líneas de tejido necrótico (Conti *et al.* 2000).

El control de los virus debe realizarse siempre de manera preventiva, pero en caso de presentarse síntomas de alguna enfermedad causada por estos, es necesario erradicar las plantas afectadas y poner en cuarentena el área. El mejor método para evitar la aparición de enfermedades virales es el uso de semillas libres de virus así como el control de insectos vectores y la eliminación de malas hierbas que puedan ser hospederos para los mismos (Agrios 1985).

***Virus del bronceado del tomate* (TSWV)**

Esta enfermedad causa manchas angulares en los frutos maduros de color verde, amarillo o tono más claro sobre el fondo rojo del fruto. Las plantas usualmente presentan un retraso en el crecimiento, el follaje también se ve afectado presentando mosaicos amarillentos y deformación de las hojas (Kenneth 1990).

Al ser este virus transmitido mediante un vector, los cuales son tisanópteros. La transmisión del virus por el vector puede producirse solamente si el insecto se alimenta sobre plantas infectadas en su estadio de neánida. Se ha comprobado que el contagio no se da mediante el insecto en estado adulto. Es recomendable para el control de la enfermedad evitar la aparición de esta plaga, también se deberá de eliminar cualquier planta que este infectada así como el utilizar variedades resistentes (Conti 2000).

2.1.6.4. Plagas

Además de las enfermedades pueden aparecer *plagas* que también afectan significativamente las plantas si no son controladas a tiempo, las principales son:

Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*)

Se considera que la especie que comúnmente ataca en los invernaderos es la *Trialeurodes vaporariorum*, y la especie *Bemisia tabaci* está más ligada a la aparición en campo, sin embargo ambas pueden llegar a causar daños de importancia económica. Estos insectos de muy pequeño tamaño, alrededor de los 1,2 mm de longitud, al poseer un aparato bucal picador-succionador suelen actuar como vectores de virus. Además de esto provocan otros daños a la planta como es el marchitamiento y enanismo así como clorosis foliar y moteado del fruto (Jones 2001).

Paratrioza (*Bactericera cockerelli*)

Es un insecto picador chupador del orden de los hemípteros. Su desarrollo se produce desde la eclosión de los huevecillos (entre 3 a 15 días), pasando por 5 estadios ninfales (14 a 17 días) hasta finalmente llegar a la etapa adulta, en donde se produce un cambio en la coloración del insecto, que va desde verde-amarillento en el cuerpo que luego pasa a ser café oscuro y en el caso de las alas, primeramente son blancas pero al paso de unas horas se tornan transparentes (Castellanos 2009).

Esta plaga también es conocida con el nombre de salerillo, debido a que se pueden apreciar en las plantas afectadas, principalmente en las hojas, secreciones similares a la sal. El gran problema de este insecto es que no solo afecta directamente a la planta, al causarle pérdida del vigor y bajar el rendimiento (debido a que succionan savia) sino que también actúa como vector al transmitir el virus permanente del tomate (Metcalf y Flint, citado por Bautista *et al* 2008).

2.2. Hidroponía

2.2.1. Concepto

Aunque muchos son los conceptos que se le han dado al término de hidroponía desde que se estableció como técnica, actualmente se deben de considerar todos los factores que en ella participan. Sánchez y Escalante (1988) define a la hidroponía como una técnica de producción agrícola, de forma muy intensiva

que consiste en alimentar el sistema radical, de una manera controlada, de agua y nutrientes, mediante la solución nutritiva y teniendo como medio de cultivo un sustrato (diferente del suelo agrícola) que proporcione las adecuadas condiciones químicas, físicas y sanitarias para el desarrollo de las plantas.

2.2.2. Contenedores

Es importante diferenciar un contenedor de lo que se conoce como maceta; ya que esta es usualmente designada para los recipientes de corta duración, mientras que el primer término se indica más para los recipientes en los cuales la planta permanecerá por un largo periodo de tiempo. Ansorena (1994) refiere el concepto de contenedor para describir a cualquier recipiente que sea usado para colocar el sustrato y donde se produzca el desarrollo de la planta.

Estos recipientes donde se coloca el sustrato para las plantas; pueden ser de diferente tamaño, forma o material. Siendo utilizados en los invernaderos principalmente bolsas de polietileno con capacidad para 15 litros. También suelen utilizarse como contendores; tinas, las cuales se construyen de forma rectangular con profundidades de 20 a 30 cm. y con un ancho aproximado de 120 cm., lo cual va a ser definido por el tipo de cultivo a sembrar en ellas (Sánchez y Escalante 1988).

2.2.3. Sustratos hidropónicos

Un “sustrato” es utilizado en horticultura para referirse a un material sólido distinto del suelo o tierra agrícola, ya sea sintético o residual, mineral u orgánico, el cual al colocarse en un contenedor, de una manera pura o mezclado, logre permitir el anclaje de las raíces, dando así, soporte a la planta. El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición mineral de la planta (Urrestarazu 2000).

Cuando se preparan todos los materiales para la siembra de un cultivo bajo condiciones hidropónicas, sin duda alguna el sustrato es de vital importancia para el sistema. No se debe buscar o pensar que existe un sustrato “ideal”, sin

embargo, hay que buscar aquel que reúna las mejores características para el desarrollo del cultivo.

Un sustrato debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas, algunas consideraciones al momento de elegir un sustrato es el que sea químicamente inerte, de fácil obtención y en la medida de lo posible de bajo costo, que no se degrade con facilidad y que retenga humedad, además de proporcionar buena aireación a las raíces (Alpizar 2004).

Los materiales que sirven como sustrato para los cultivos hidropónicos pueden ser de origen diverso. Orgánico como la cáscara de arroz, el aserrín, la cáscara de coco. Naturales como la grava, arena, tezontle, piedra pómez. Sintéticos como los pelets o esponjas de polipropileno, poliuretano, polietileno entre otros (Samperio 1999).

Dentro de las características de algunos sustratos, se pueden mencionar, a) *la vermiculita*, (silicato hidratado de magnesio, aluminio y hierro) el cual tiene una alta porosidad, superior al 95 % del volumen, retiene muy poca agua y posee una capacidad de aireación mayor al 50 % del volumen total, sin embargo este sustrato muestra una alta capacidad de intercambio catiónico y algunas poseen pequeñas cantidades de potasio y magnesio lo que puede ayudar a disminuir las fertilizaciones de estos elementos (Urrestarazu 2000).

b) *La perlita*; el cual es un material silíceo de origen volcánico el cual se extrae de los ríos de lava. Cuando el material se encuentra recién extraído se muele y cierne para luego calentarlo a temperaturas de 1,400 °F, esto porque a esta temperatura se logra evaporar el agua que se encuentra en las partículas y además formar un material estéril. La perlita presenta un pH de 6,0 a 8,0 y no posee capacidad de intercambio lo cual se da en la vermiculita (Resh 1992).

Otros materiales disponibles como sustrato son, *Lana de roca*, el cual es un material obtenido de la fundición de rocas de distinta procedencia a una temperatura de 1.600 °C, el cual se transforma en fibras que se le añaden mojanter para darle capacidad de absorción. *Fibra de coco*, el cual proviene de

productos derivados del coco (polvo, fibra y cáscara), es recomendable lavar este material, antes de iniciar la siembra, ya que posee cierta conductividad eléctrica, por obtenerse de plantas que se cultivan cerca del mar, contiene altas cantidades de sales (Sanz *et al* 2003).

2.2.4. Solución nutritiva

La solución nutritiva (SN), forma parte importante en los sistemas hidropónicos, ya que de ella dependerán aspectos tales como la cantidad y calidad de la producción. Entre los puntos a considerar en una SN están: la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica, relación entre aniones y cationes, el pH, relación NO_3^- : NH_4^+ y la temperatura. Estos puntos van estrechamente relacionados con la etapa fenológica del cultivo, de manera tal que relaciones como la de aniones y cationes deben modificarse a lo largo del ciclo (Lara 1999).

Las fuentes principales para preparar una solución nutritiva son el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). También se utilizan pero en menor cantidad los elementos menores (Zinc, Hierro, Cobre, Boro, Molibdeno y Cloro). Entre los fertilizantes que comúnmente son utilizados, se encuentran el Nitrato de Potasio o de Calcio, como fuentes de N, el ácido fosfórico como fuente de P, la sal de Epsom o Sulfato de magnesio para suplir las necesidades de Magnesio y los sulfatos para proveer el S, principalmente (Sánchez y Escalante 1988).

2.3. Invernaderos

2.3.1. Concepto

Se considera una construcción para fines agrícolas, la cual posee una cubierta translúcida y con la cual se pretende simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo que se reproduzca en el interior y con cierta independencia del medio exterior (Sánchez y Escalante 1988).

2.3.2. Ventajas y desventajas de la producción en invernadero

Entre algunas de las ventajas que se obtienen al utilizar un invernadero se pueden mencionar; producción intensiva todo el año, obtención de productos fuera de temporada y condiciones ambientales, altos rendimientos por unidad de superficie, uso eficiente del agua e insumos, entre muchos otros. Sin embargo, también suelen presentarse situaciones de desventaja para este tipo de sistemas, como la alta inversión inicial, que es lo que más pesa en el bolsillo de los productores, además de los altos costos en el manejo y operación de los mismos (Bastida 2009).

2.3.3. Estructura

Varios son los factores que se deben tomar en cuenta antes de construir un invernadero como es el caso de la orientación, la ubicación, además de los materiales que serán utilizados en la estructura del mismo.

El sitio donde se construye un invernadero debe tener ciertas características para un mejor manejo del mismo, este no debe recibir proyecciones de sombreado por edificios, árboles o montañas. Son ideales lugares donde la velocidad del viento es moderada, debido a que contribuirá a la ventilación con una consecuente tasa de renovación de CO₂ y la expulsión de humedad confinada en el interior del invernadero (Castellanos 2009)

En cuanto a los tipos de invernadero, éstos pueden construirse de muchas formas y también el material con que se construyen es muy diverso. Existen los de tipo sencillo o unidos en batería, con líneas rectas o curvas, con alturas diversas, con pendientes diferentes en el techo, también su orientación varía en la medida en que algunos son en dirección norte-sur y otros este-oeste o sesgados (Sánchez 2009)

2.3.4. Cubiertas de invernadero

Es importante definir el concepto de cubierta, ya que para efectos de invernaderos puede significar varias cosas. Es posible referirse a la cubierta cuando se habla del material que recubre el invernadero y también cuando se habla de la parte superior del mismo. En este último término es posible agrupar

los invernaderos de acuerdo a su forma y tipo de cubierta, ya sean estas planas, rectas inclinadas, simétricas rectas inclinadas, elípticas, entre otras. Una cubierta a su vez, debe de tener una pendiente que ayude a que se deslicen sobre ella las diferentes precipitaciones producidas por el clima, ya sea lluvia, granizo o nieve (Bastida 2006).

En cuanto a las cubiertas que se utilizan en los invernaderos para la producción de tomate, se encuentran los plásticos que permitan el acceso de luz solar y que a su vez aumenten el grado de difusión de luz. 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).

2.3.4.1. Propiedades de distintos materiales de cubierta

- **Propiedades radiométricas**

Dentro las propiedades radiométricas de los films, cabe señalar la banda ultravioleta (UV), la cual se encuentra comprendida entre las longitudes de onda de 290 y 380 nanómetros. El problema de la banda UV es que en este rango se encuentran otras longitudes que resultan ser muy energéticas y peligrosas que causan dificultades al llegar a la tierra, específicamente en los cultivos y los plásticos. Para el caso de los primeros si las cantidades de radiación son pequeñas pueden tener efectos sobre la germinación de ciertas semillas, sin embargo, en grandes cantidades pueden llegar a provocar la muerte de tejidos vegetales. En el segundo caso van a producir la fotodegradación de los plásticos, de ahí la importancia de generar filmes que eviten el paso de los rayos UV (Díaz *et al* 2001).

- **Propiedades térmicas**

Esta propiedad es muy importante, ya que es la que mide la capacidad del material de retener calor dentro de un invernadero, lo cual es vital para la época de invierno cuando se dan bajas temperaturas que pueden causar la muerte de las plantas. La termicidad se logra cuando el film es transparente a la luz infrarroja corta y opaco a la luz infrarroja larga. Se debe de procurar que el plástico deje pasar la mayor cantidad de luz posible; sin embargo, el efecto

térmico se logra cuando este no deja escapar el calor, en forma de radiación, por la noche o en invierno. Los aditivos que se utilizan para generar este efecto son VA (acetato de vinilo) en polietilenos EVA y Carga Mineral (basado en silicatos) para los polietilenos térmicos (Núñez 1999).

2.3.4.2. Diferentes materiales empelados para cubiertas de invernadero

Los materiales más comúnmente empleados en las cubiertas de los invernaderos son el plástico, el vidrio y recurrentemente el policarbonato de sodio, de estos, es el plástico el que toma mayor importancia en las regiones tropicales, siendo el de más uso por la industria de cultivos protegidos.

El uso de plásticos, en los últimos 30 años, ha revolucionado la construcción de invernaderos ya que ha contribuido al desarrollo de estas estructuras a un bajo costo en los países en desarrollo. La mayoría de los materiales empleados en el clima templado se conocen como “soft” de plástico o filmes de polietileno, el cual es el material más barato disponible y viene en largas láminas que permiten cubrir grandes estructura, sin embargo, aún con inhibidores de UV, estos materiales tienen una corta duración que ronda de los dos a cinco años (Hanan 1998).

Aunque el polietileno sea el material más común para la construcción de invernaderos, también deben de tomarse en cuenta otros criterios, ya que existen muchos tipos de plásticos, a los cuales se les modifican sus características para obtener diferentes resultados. Es por esto que se debe considerar la respuesta agronómica de los mismos sobre el cultivo, evaluando factores como precocidad, producción y calidad; también se deben analizar cuáles son las propiedades ópticas y térmicas del material a utilizar como cobertura (Matallana y Montero 2001).

Cabe señalar algunos de los principales materiales plásticos que se utilizan en la construcción de invernaderos, entre los cuales se pueden mencionar; poliéster de fibra de vidrio, policloruro de vinilo rígido (PVC), polietileno normal, polietileno de larga duración, etc. De ellos el que se utiliza más comúnmente

es el polietileno (ya sea normal, de larga duración o térmico de larga duración). En el caso del polietileno normal tiene un periodo de duración muy corto, alrededor de un año, pero esto también va a depender del clima al que sea expuesto, ya que donde se presente clima soleado la mayor parte del año, existe una mayor exposición a los rayos UV lo cual ocasiona una rápida degradación (Robledo 1988).

2.3.4.3. Materiales que se adicionan a los plásticos para crear resistencias

Existen algunos materiales, los cuales se adicionan en el proceso de fabricación de los plásticos para crear diferentes cualidades pero sin afectar la estructura molecular del polímero. Estos aditivos pueden ya sea facilitar el proceso de transformación (procesado) o aportar determinadas cualidades al plástico (funcionales). De estos últimos los más importantes son los fotoestabilizadores, los antiácidos, los que bloquean la radiación infrarroja larga o corta, los que modifican la tensión superficial y los aditivos de luminiscencia (Díaz *et al.* 2001).

2.3.4.4. Cubiertas antiplaga

Las cubiertas antiplagas tienen la característica, al ser fotoselectivas, de boquear parte de la radiación UV solar, esto provoca que el desarrollo de plagas, enfermedades fungosas y virus transmitidos por insectos se dificulte y por ende se disminuya su incidencia (Salmerón *et al.* 2001, citado por Castilla 2005).

Investigaciones realizadas por Gásquez *et al.* (2003), evaluaron el control de plagas en tomate tanto bajo plástico convencional como antiplagas, realizando manejo integrado de plagas en los mismos. Concluyeron que el plástico antiplagas filtra la luz UV en mayor proporción que el convencional, ninguno de estos materiales afectó la temperatura y humedad relativa, además, como era de esperar en el tratamiento con plástico antiplagas se observó una reducción de la mosca blanca. Cabe señalar que se determinó que este tipo de material puede llegar a afectar las poblaciones de polinizadores (*Bombus terrestres*) por lo que recomiendan aumentar el número de colmenas por hectárea.

2.3.4.5. Cubiertas que interceptan radiación

Dentro de las características que poseen los materiales para invernaderos se encuentra la transparencia, la cual se refiere a la capacidad de dejar pasar la radiación solar. Materiales transparentes o translúcidos son los que dejan pasar todas las longitudes de onda luminosa, estos son los que generalmente se utilizan como cubiertas en los invernaderos. Existen materiales que no son del todo transparentes por lo que la energía solar que absorben, retienen y reflejan es menor (Bastida y Ramírez 2002).

2.3.4.6. Cubiertas difusoras de radiación

Existen cubiertas que poseen la capacidad de aumentar la proporción de radiación difusa en el interior del invernadero, esto se logra mediante el uso de aditivos específicos que inducen estas propiedades. Las cubiertas difusoras, poseen un aspecto blanquecino, opalino y mediante la turbidez se cuantifica el poder difusor de ellas (Castilla 2005).

2.3.4.7. Cubiertas impermeables a la radiación de onda larga

Este tipo de cubiertas plásticas se han desarrollado con el fin de reducir la cantidad de radiación con longitud de onda larga que penetre en el invernadero. El efecto que ejercen las láminas de estos plásticos es "termoaislante" ya que son relativamente opacas a las radiaciones infrarrojas de longitud de onda larga. Una lámina de plástico es considerada como térmica cuando las radiaciones de onda larga que deja escapar no sobrepasan el 20 %. En parte este efecto está relacionado con el espesor de las láminas, entre menor sea este se disminuyen las radiaciones de longitud de onda larga (Serrano 2005).

2.3.4.8. Cubiertas con propiedades diversas

Debido a la importancia que han tomado los plásticos en la agricultura moderna, se ha investigado mucho en el campo, con el fin de buscar siempre productos que se identifiquen con las necesidades del productor. Es así como en la actualidad existen películas que presentan diferentes propiedades, tales como alta resistencia; es decir, resisten más los agentes externos e internos del invernadero, también existen materiales térmicos, los cuales regulan la

temperatura interior del invernadero. También se han desarrollado plásticos cuya particularidad es ser antiadherentes ya que reducen la fijación de polvo en las cubiertas, esto permite que se reduzcan las pérdidas de transmisividad de la película (CEPLA 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Invernaderos de Investigación del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el Estado de México, a una altitud de 2251 m.s.n.m., 19°29' Latitud Norte y 98°52' Longitud Oeste.

3.2. Definición del área experimental

Se contó con tres invernaderos distribuidos uno al lado del otro, los cuales tienen el diseño doble vertiente, con la única diferencia que dos de ellos miden 42 metros de largo mientras que el tercero solo 30 metros, las demás características se ajustan de igual manera para las tres estructuras, siendo 11 metros de ancho, 2.5 metros de altura a largueros perimetrales y 4.5 metros de altura a cumbrera. Cada estructura está cubierta por una película plástica de diferentes características que constituyen los tratamientos del ensayo.

3.3. Tratamientos

T1 = Película Formulación con base Níquel

T2 = Película Tinuvin 494

T3 = Película Nuevo SML (Smart Light)

3.4. Descripción de los tratamientos

A continuación se detallan algunas de las características que poseen los plásticos las cuales han sido proporcionadas por la empresa fabricante, CIBA

T1: Polietileno con estabilizador contra luz ultravioleta, formulado con base en un complejo de níquel. El color que presenta este plástico es de *amarillo verdoso*. No se cuenta con información adicional, debido a que la empresa que lo proporcionó la mantiene como información exclusiva.

T2: Polietileno con estabilizador contra luz ultravioleta, con el nombre comercial Tinuvin 494. En este caso el aditivo que posee el material es una mezcla de alto peso molecular de HALS (Hindered Amine Light Stabilizer) y coaditivos que

lo hacen muy estable ante los rayos ultravioleta, además de presentar cierta resistencia a la degradación causada por la aplicación constante de plaguicidas. El color de este plástico es *transparente*.

T3: Polietileno con estabilizador contra luz ultravioleta denominado Smart Light RL 1000. La propiedad del aditivo de este plástico es la de tomar parte de la radiación UV y convertirla en luz visible que puede contribuir a la fotosíntesis. El color del material evaluado es *amarillo*.



Figura 1. Cubiertas plásticas utilizadas en la evaluación del cultivo de tomate. A) Plástico verde, B) Plástico blanco, C) Plástico amarillo.

3.5. Parcela útil

Se distribuyeron ocho parcelas de forma aleatoria dentro de cada invernadero, cada una con tres dobles hileras, siendo de 13,7 m² las de los tratamientos T1 y T2 y de 10,3 m² para el tratamiento T3, para un total de 48 plantas por parcela para los dos primeros tratamientos (T1 y T2) y de 36 para el último (T3).

3.6. Material a evaluar

El material evaluado fue tomate (*Lycopersicon esculentum*) tipo “bola” variedad Imperial, de la casa comercial Enza Zaden, el cual es de hábito indeterminado, con fruta semi redonda aplanada sin hombros verdes, su peso está sobre los 260 g., posee buena firmeza y cierre apical. Precocidad intermedia.

El transplante se realizó el 06 de junio, con una edad de planta de 40 días. Las plantas se colocaron en bolsas de polietileno rellenas con arena de tezontle con capacidad de 15 litros, se tutoraron con hilo de rafia de la estructura del

invernadero. El cultivo se manejó bajo condiciones de hidroponía, regándose diariamente mediante un sistema de riego por goteo, las especificaciones del mismo y la solución nutritiva se señalan más adelante. El periodo de evaluación se llevo a cabo del 06 de junio al 15 de octubre de 2010.

3.7. Variables del ambiente dentro del invernadero

- Porcentaje de luz visible transmitida al interior de los tratamientos y en el ambiente exterior
- Porcentaje de dispersión de luz en el interior de los tratamientos y el ambiente externo
- Radiación solar acumulada por día (Mjoules/m²)
- Radiación media ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)
- Porcentaje de Transmisión de luz ultravioleta
- Temperaturas mínimas, medias y máximas diarias en el interior y exterior
- Integral térmica diaria interior (días-grado)
- Humedad relativa mínima, media y máxima por día

3.8. Variables sobre la fisiología del cultivo

- Altura de planta
- Grosor del tallo
- Área foliar de la planta
- Biomasa de tallo
- Biomasa de hojas
- Biomasa de frutos
- Rendimiento por planta
- Peso medio por fruto
- Tamaño de fruto

3.9. Toma de datos de las variables

3.9.1. Porcentaje de luz transmitida al interior (instantánea y promedio del día)

Se realizó con la ayuda de un luxómetro Se marcaron 3 puntos dentro de cada invernadero, por encima del dosel se colocó el instrumento y se midió la cantidad de luz transmitida en el interior de los tratamientos, este procedimiento se repitió a lo largo de un día completamente despejado a las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00 hrs. El porcentaje fue calculado con respecto al exterior.

3.9.2. Porcentaje de dispersión de luz (instantánea y promedio del día)

Esta variable se midió de igual forma que la anterior solo que en este caso se cubrió el luxómetro para captar la luz que estaba siendo dispersada en ese momento dentro de los invernaderos. Esto fue calculado únicamente para el ambiente exterior, los datos de los tratamientos fueron proporcionados por la casa comercial.

3.9.3. Radiación solar acumulada por día (exterior e interior)

La radiación solar acumulada es la suma de los datos obtenidos con un luxómetro en 8 horas durante un día soleado. Esto fue realizado con la ayuda de un sensor cuántico.

3.9.4. Radiación media ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)

Con la ayuda de un sensor cuántico, se calculó la radiación media tanto para el interior de los tratamientos como para el exterior, realizando las mediciones en un día despejado, entre las 09:00 y 17:00 horas.

3.9.5. Radiación Ultravioleta

De igual forma que la variable de radiación media, se utilizó un sensor cuántico para estimar de igual manera que el porcentaje de luz transmitida al interior de los tratamientos. Los datos son expresados en porcentaje con respecto al exterior.

3.9.6. Temperatura y humedad relativa: mínimas, medias y máximas diarias en el interior

Se instalaron sensores para la monitorización de la temperatura y humedad relativa marca HOBO (Onset Computer Corporation), los cuales fueron previamente calibrados y programados para la toma de datos cada hora con activación automática en 05 de junio del 2009 a las 11:03 a.m. y finalizando el 20 agosto a las 07:00 a.m. Posteriormente los datos fueron capturados en el software para su posterior análisis.

3.9.7. Temperatura y humedad relativa: mínimas, medias y máximas diarias en el exterior

Se recopilaron los datos registrados del Observatorio Meteorológico de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.9.8. Integral térmica diaria interior y exterior

Se utilizó el método 10-30 (días grado) para describir esta variable, el cual consiste en desarrollar una fórmula basada en las temperaturas máximas como mínimas. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$DG = \sum_{i=1}^n \square = \frac{(T_{imin} + T_{imax}) - 10}{2}$$

Donde DG = días grado

T_{imin} = temperatura mínima del día i

T_{imax} = temperatura máxima del día i

3.10. Variables sobre la fisiología de la planta

3.10.1. Altura de planta

Se marcaron al azar, tres plantas representativas dentro de cada parcela. El procedimiento utilizado para calcular la altura fue el medir con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la planta. Esta variable se evaluó a los 30, 55 y 120 días después del trasplante (ddt), las mediciones se registraron en centímetros.

3.10.2. Grosor de tallo

Para medir esta variable se utilizó un vernier electrónico a la altura de 15 centímetros desde la base del tallo, luego se procedió a anotar la lectura correspondiente. Se usaron las mismas tres plantas seleccionadas para altura de planta. También se realizaron tres mediciones, a los 30, 55 y 120 ddt, las cuales se registraron en milímetros.

3.10.3. Área foliar de la planta

Santos, 2006, realizó estimaciones del área foliar en el cultivo de jitomate, variedad Girona, basándose en mediciones no destructivas, en esta investigación se obtuvieron varios modelos de los cuales el que presentó un coeficiente de regresión (R^2) mayor y menor Coeficiente de Variación (CV) fue el siguiente:

$Y = -32.3259 + 0.347645 LxA - 0.012997 (LxA)^2$, donde Y = área foliar de la hoja, LxA = largo máximo por ancho máximo de la hoja (cm), con un R^2 de 0,847 y un CV de 20,64. Sin embargo en un trabajo inédito, en la variedad de tomate Imperial tipo bola (la misma del presente estudio), realizado por Francisco Suazo¹, se obtuvo un modelo que ajusta de una manera más precisa la manera de estimar el área foliar. El modelo obtenido fue el siguiente: **$Y = 0,7984 \times (LxA/2) - (46,526)$** , donde Y = área foliar de la hoja (cm^2), LxA= largo máximo por ancho máximo de la hoja (cm), con un $R^2 = 0,8072$.

¹ Suazo, F. 2009. Determinación del área foliar en el cultivo del jitomate (entrevista). Texcoco, MX. Universidad Autónoma Chapingo.

De esta forma se procedió a utilizar como parte del procedimiento de estimación de área foliar en el presente estudio, **el segundo modelo**, para lo cual solo fue necesario medir el largo y el ancho máximos de las hojas de dos plantas seleccionadas al azar en cada repetición para un total de 16 plantas por tratamiento, esto se realizó a los 32, 73 y 100 DDT. Los datos obtenidos fueron registrados en cm².

3.10.4. Biomasa de la planta

Fueron seleccionadas de manera aleatoria dos plantas (cortadas desde la base del tallo) en cada repetición, obteniéndose así, 16 plantas por tratamiento. Las determinaciones se hicieron en el laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la siguiente manera:

- a) **Biomasa de hojas:** fueron separadas las hojas de cada planta, para ser colocadas en bolsas de papel debidamente identificadas y luego ser llevadas a la estufa de secado a una temperatura promedio de 80-90 °C. luego de alcanzar un peso constante estas fueron pesadas en una báscula; los datos se registraron en gramos.
- b) **Biomasa de tallo:** una vez retiradas las hojas del tallo de las plantas, estos fueron cortados en pequeños trozos los cuales fueron colocados en bolsas de papel, de igual manera que las hojas, rotulados de acuerdo a la parcela y tratamiento pertenecientes. Las bolsas fueron llevadas a la estufa de secado (a temperaturas de 80-90 °C) y al alcanzar un peso constante se pesaron en una báscula para registrar los datos en gramos.
- c) **Biomasa de frutos:** a cada planta se le retiraron los frutos, en su totalidad, sin importar el grado de madurez que tenían para luego colocarlos en bolsas de papel; para ser llevados a la estufa de secado (a temperatura de 80-90 °C). los frutos al ser estructuras más carnosas, tardaron un poco más que las hojas y los tallos hasta deshidratarse completamente.

3.10.5. Rendimiento por planta

Esta variable fue calculada con base en los datos obtenidos de producción total por parcela de cada tratamiento. Primero fue necesario estimar el número total de plantas por repetición las cuales se obtuvieron al restar la cantidad de plantas eliminadas por algún daño durante el periodo de evaluación y las que fueron extraídas de las parcelas como parte de los muestreos destructivos (llevadas al laboratorio).

Tomando en cuenta el procedimiento anterior, se obtuvo un número final de plantas por repetición y por tratamiento. Como fue mencionado anteriormente, debido a las dimensiones de los tratamientos, las parcelas del T3 tuvieron un menor número de plantas con respecto a T1 y T2, por lo cual para efectos de rendimiento se consideró mejor expresar los datos por planta y una vez obtenidos extrapolarlos a un igual número de plantas para todos los tratamientos. De acuerdo con lo anterior, una vez que se cuantificó la producción total por tratamiento así como el número de plantas correspondiente, se estimó la producción por unidad, dividiendo la producción total de cosecha entre el número de plantas presentes en la misma por cada repetición para así obtener un promedio de cuanto producción se obtuvo por planta.

3.10.6. Tamaño de fruto

Toda la producción se agrupó en 4 categorías, ubicadas estas con base en el diámetro ecuatorial del fruto. Se consideró de esta manera la siguiente clasificación:

Frutos chicos: aquellos que presentaran un diámetro inferior a los 4 cm.

Frutos medianos: ubicados con diámetro entre los 4 y 6 cm.

Frutos grandes: para los frutos con diámetro entre 6 y 8 cm.

Frutos extra grandes: con un diámetro superior a los 8 cm.

Cabe señalar que para llevar a cabo esta clasificación en todos los casos se usó como referencia una tabla la cual contenía orificios con las medidas

indicadas para cada categoría, lo cual facilitó la clasificación y separación por tamaño.

3.10.7. Peso medio de fruto por categoría

De todas las cosechas realizadas se pesaron frutos de acuerdo a las categorías establecidas (chicos, medianos, grandes y extra grandes) para así promediar el peso obtenido de cada grupo.

3.11. Manejo general del cultivo a evaluar

3.11.1. Frecuencia de riego

El riego aplicado en los tres tratamientos se realizó mediante cintas de goteo, cada gotero tiene capacidad de gasto de 4 litros/hora. La frecuencia de riego fue de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climáticas, siendo aproximadamente de tres a seis riegos diarios, aplicados de igual forma para los tres tratamientos.

3.11.2. Control de plagas

El control de plagas realizado fue de acuerdo a la presencia de síntomas en el cultivo, se aplicó tratamiento para la botrytis (*Botrytis cinerea*) y para la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) principalmente, estos controles fueron supervisados por el Ingeniero a cargo de la unidad de invernaderos y se utilizaron las dosis recomendadas según los productos.

3.11.3. Solución nutritiva

Se utilizó una solución nutritiva completa, la cual se aplicó mediante el riego. La fórmula utilizada fue recomendada por los Ingenieros del campo experimental y la cual ha sido diseñada a través del tiempo en respuesta a los diferentes ensayos realizados. En el siguiente cuadro se muestra la recomendación de aportación de cada elemento en una fórmula completa. Esta fórmula es la utilizada actualmente en el campo experimental, basada en estudios a través de los años hasta llegar a obtener un punto en el cual se puedan desarrollar bien diferentes cultivos con el mismo aporte de nutriente.

Cuadro 2. Elementos necesarios a aportar en una solución nutritiva completa.

Nombre del fertilizante	Fórmula química	Elementos aportados	Ppm del elemento	Aporte en g/1000 L (ppm)
Acido Fosfórico	H_3PO_4	P	23	50
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	P/K	157/42	146
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4 * 7H_2O$	Mg/S	62/82	633
sulfato de Potasio	K_2SO_4	K/S	224/92	500
Sulfato Ferroso	$FeSO_4$	Fe/S	3/1,7	15
Borax	$Na_2B_4O_7 * 10H_2O$	B	0,4	3,3
Sulfato de manganeso	$MnSO_4 * 4H_2O$	Mn/S	0,6/0,3	2,3
Sulfato de Cobre	$Cu(SO_4)*5H_2O$	Cu/S	0,05/0,02	0,2
Sulfato de Zinc	$ZnSO_4*7H_2O$	Zn/S	0,04/0,02	0,2
Nitrato de Calcio	$Ca(NO_3)_2*4H_2O$	Ca/S	226/158	1333
Nitrato de Amonio	NH_4NO_3	N	38	117
Acido Sulfúrico	H_2SO_4	S	16	50

3.12. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con ocho repeticiones por tratamiento. Cada repetición se consideró como una Unidad Experimental constituida por 48 plantas en los tratamientos 1 y 2 y de 36 plantas para el tratamiento 3.

3.13. Modelo experimental

El modelo experimental fue el siguiente

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación correspondiente del *i-ésimo* tratamiento en la *j-ésima* repetición.

μ = media general

T_i = efecto del *i-ésimo* tratamiento

ε_{ij} = error experimental

3.14. Análisis de datos:

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), con pruebas de Tukey ($P \leq 0,05$),

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a las variables evaluadas en el estudio, se decidió primero discutir las que se refieren al ambiente que se generó dentro de los tratamientos y posteriormente las referentes a la fisiología del cultivo

4.1. Análisis de las propiedades de las cubiertas plásticas en relación a la radiación solar

En el **Cuadro 3** se pueden observar las propiedades de transmisión solar de cada uno de los tratamientos, las cuales van a diferir de acuerdo a las características propias de cada cubierta evaluada. Se puede ver que las cubiertas de color opaco (verde y amarilla) pertenecientes a los tratamientos 1 y 3 tienen un similar comportamiento y totalmente opuesto con respecto a la cubierta más transparente (color blanco) que se utilizó en el T2.

Cuadro 3. Propiedades de tres cubiertas plásticas respecto a transmisión y difusión de radiación solar.

TRAT.	DIFUSIÓN DE LUZ VISIBLE (%)	TRANSMISIÓN DE LUZ VISIBLE (%) ¹	TRANSMISIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA (%) ¹	RADIACIÓN MEDIA ² ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)	RADIACIÓN ACUMULADA ³ (Mjoules/m ²)
T1	80.7	50.4	4	907	13.06
T2	43.0	82.6	36	1479	21.29
T3	62.1	63.7	3.4	1151	16.58
AE	14	100	100	1796	25.86

T1: Cubierta plástica color verde; T2: cubierta plástica blanca; T3: Cubierta plástica amarilla. AE: ambiente exterior, 1 porcentaje respecto al exterior, 2 entre 09:00 y 17:00 horas, 3 en 8 horas en un día soleado.

Mientras que para los tratamientos 1 y 3 los porcentajes de radiación difusa estuvieron por encima del 50 % el tratamiento 2 mostró poca difusión de luz con solo un 43 %. Sin embargo, este tratamiento es que mayor transmisión de luz visible y ultravioleta tiene con respecto a los T1 y T3.

El que la cubierta utilizada en el T2 (Tinuvín 494) presente una alta transmisión de luz tanto visible como ultravioleta (uv) puede presentar efectos negativos tanto para el plástico como para el cultivo. Los rayos uv son responsables, en gran medida, de la fotodegradación de los filmes plásticos utilizados en la agricultura, además de que pueden causar daños entre los que destacan la activación de ciertos virus el desarrollo de *Botrytis cinerea.*, la presencia de algunos insectos chupadores, así como daños por quemaduras y necrosis en los tejidos vegetales (Díaz *et al.* 2001).

Además de esto una alta radiación puede causar un “nivel de saturación de radiación” en las hojas de las plantas, principalmente en las que se encuentran en la parte alta del dosel y limitar a las más bajas al ser sombreadas por las primeras (Curso Internacional sobre la Producción de Hortalizas en Invernadero 2003).

El problema de este nivel de saturación es que aunque se aumente la radiación ya no va a existir una respuesta positiva con respecto a la fotosíntesis, y la planta no va a asimilar de igual forma este proceso en todo su espacio. Es por esto que la dispersión de la luz dentro del invernadero es de gran importancia, ya que la luz difusa contribuye a una mejor distribución de la misma al interior del dosel foliar y de esta manera se da un mayor aprovechamiento tanto en la parte alta como en la baja.

Lo ideal de una cubierta plástica será que mantenga un buen nivel de radiación difusa sin limitar la intensidad de radiación, de esto se puede decir que de las tres cubiertas probadas el T3 (Smart Light) posee características que pueden ser ideales respecto a los otros tratamientos en cuando a radiación y aprovechamiento de luz, ya que posee un alto porcentaje de luz difusa (62,1 %) y a su vez no excede ni limita mucho la transmisión de luz visible (63,7 %).

4.2. Análisis de Temperatura y Humedad Relativa

Es importante mencionar que para este estudio fue necesario omitir los datos de Temperatura y Humedad Relativa correspondientes al Tratamiento 1, debido a la sustracción y pérdida de los aparatos de medición en el invernadero con este tratamiento. Sin embargo, para el análisis de variables en el cultivo se discutirán a detalle los resultados arrojados dentro de este invernadero.

Como se muestra en el **Cuadro 4** no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente externo, con respecto a la humedad relativa media, sin embargo en las demás variables si se puede observar un efecto entre las temperaturas y humedad relativa mínima y máxima.

Cuadro 4. Cuadrados medios de análisis de varianza de una sola vía para las variables de Temperatura y Humedad Relativa (Máxima, Media, Mínima)

Variable	Cuadrado Medio	Coefficiente Variación
Temperatura máxima	4168,649 **	9,135
Temperatura media	1666,328 **	9,576
Temperatura mínima	98,707 **	17,248
HR máxima	408,354 **	4,238
HR media	65,927	17,874
HR mínima	1013,883 *	32,672

* significativo ($p \leq 0,05$), **altamente significativo ($p \leq 0,01$).

4.2.1. Temperatura

Estadísticamente solo se encontraron diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados (plástico blanco y plástico amarillo) en cuanto a las temperaturas máximas. En el caso de la temperatura media y mínima no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, las variaciones entre la temperatura máxima pueden llegar a ser hasta de 1,61 °C,

siendo los máximos valores para el plástico Tinuvín 494 (T2) (**cuadro 5**). Esto es debido a que como se enunció en el cuadro 2, la radiación acumulada es mayor (21,29 Mjoulles/m²) en el T2 respecto al T3 (16,58 Mjoulles/m²).

Para el caso de temperatura media y mínima, como se observa en el **Cuadro 5**, la diferencia estadísticamente significativa (Tukey, P≤0.05) se presentó en relación con el ambiente exterior, en donde el T2 estuvo 8,5 °C por encima de la temperatura externa y el T3 7,7 °C respecto a la misma temperatura. En el caso de la temperatura mínima los tratamientos T2 y T3 resultaron ser superiores con respecto al exterior en 2,16 y 1,8 °C respectivamente.

Cuadro 5. Comparación de medias en temperatura al colocar tratamientos con dos diferentes plásticos.

Variable	T2	T3	Exterior	DMS
Temperatura máxima	39,581 a*	37,971 b	25,939 c	1,2142
Temperatura media	28,714 a	27,984 a	20,209 b	0,9459
Temperatura mínima	12,061 a	11,778 a	9,948 b	0,7485

T2: Cubierta plástica blanca; T3: Cubierta plástica color amarillo; DMS: Diferencia mínima significativa.

*Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, p≤0.05).

La temperatura en sí, dentro de un invernadero normalmente es mayor, durante el día, que la temperatura exterior, esto directamente relacionado por el efecto invernadero que se presenta, también está influida por otros aspectos como lo son la orientación, forma y tamaño del invernadero así como características de la cubierta plástica y la etapa fenológica y tipo de cultivo que se encuentra dentro del mismo (Curso Internacional sobre la Producción de Hortalizas en Invernadero 2003).

Sánchez y Moreno² en un trabajo inédito realizado en 2008, encontraron que diferencias similares en cuanto a temperatura al evaluar los mismos plásticos, obteniendo siempre las mayores temperaturas para el plástico Tinuvín 949 (blanco), sin embargo, cabe desatacar que el plástico con las

² Sánchez, F., Moreno, E. 2008. Efecto de tres películas plásticas sobre el microclima del invernadero y el comportamiento de jitomate, chile pimienta y pepino en hidroponía. UACH. MX.

temperaturas menores correspondió al formulado a base de níquel (plástico verde) y cuyos datos para el presente estudio no son posibles de detallar.

Sin embargo; con base a la información obtenida en el 2008 por Sánchez y Moreno, se puede inferir que en este caso el tratamiento 1 pudo haber presentado un comportamiento similar y por ende ser el que menores valores de temperatura obtuviera o cercanos al del tratamiento 3 (plástico amarillo) pero totalmente alejados de los valores del tratamiento 2.

A continuación se detalla el comportamiento por separado de las máximas, medias y mínimas tanto para la temperatura como para la humedad relativa a lo largo del periodo de evaluación dentro del ciclo del cultivo.

Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas fueron estadísticamente diferentes entre ambos tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$), como se observa en el **Cuadro 5**. Sin embargo como se puede apreciar en la **Figura 2**, parece no existir mucha variación de temperatura entre el T2 (Tinuvín 494) y T3 (Smarth Light RL 1000), aun así el T2 alcanzó en la mayoría de días en el periodo estudiado más de 1 °C por encima de la temperatura del T3.

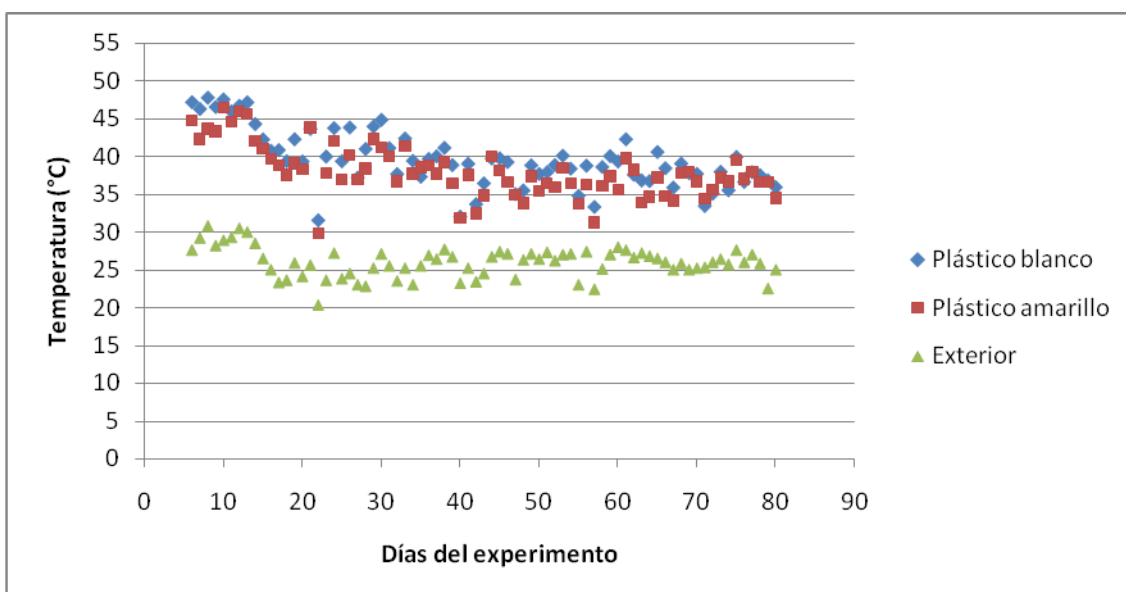


Figura 2. Temperaturas máximas registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

La diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 3 al comparar la temperatura máxima, puede deberse a que el material de cubierta del T2 facilita una mayor incidencia de radiación solar (**Cuadro 2**) lo cual hace que se caliente más que el otro tratamiento, principalmente después del medio día y horas posteriores de la tarde, donde los rayos del sol son más directos sobre los invernaderos.

Las mayores temperaturas, en promedio, se presentaron en los primeros días de la evaluación, la presencia de días nublado pudo influir en un pequeño descenso en la temperatura. Sin embargo, cabe señalar que en zonas donde predomine mayor número de días soleados en el año, la cubierta color blanca (T2) puede no ser la más recomendable para invernaderos no tecnificados, ya que al poseer una alta transmisión de radiación, puede llegar a favorecer que se presenten altas temperaturas dentro del invernadero las cuales pueden afectar el desarrollo de las plantas.

Es importante señalar que al presentarse temperaturas tan elevadas puede ser un factor que ponga el riesgo el cultivo, esto porque a temperaturas superiores a los 40 °C la actividad fotosintética se puede ver afectada debido al cierre de estomas (Lira 2007).

Temperatura media

La temperatura media presentó similar comportamiento a la temperatura máxima (**Cuadro 5**), sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tukey, $P \leq 0.05$), pero si hay una diferencia de más de 7 °C por encima de la temperatura del ambiente externo, lo cual resulta de consideración al momento de ver el comportamiento de los cultivos.

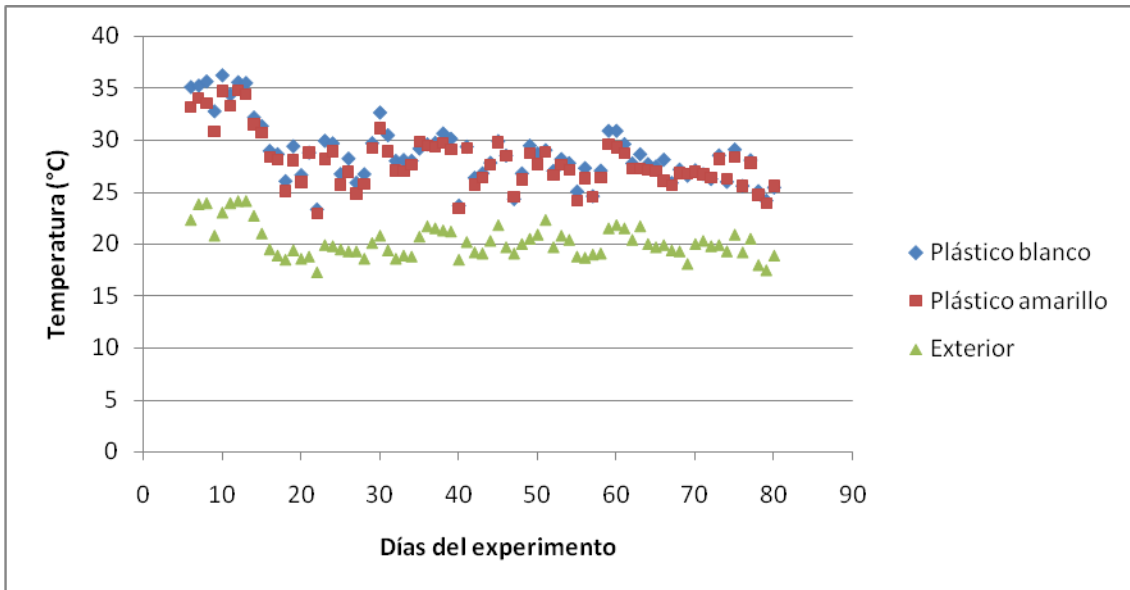


Figura 3. Temperaturas medias registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

Es importante recordar que la planta de tomate necesita temperaturas diurnas de entre 21-23 °C (Castellanos 2009); lo que se observa en la **Figura 3** es que ambas cubiertas plásticas propiciaron temperaturas medias entre los 25 y 30 °C, lo cual puede indicar que es necesario implementar otros factores que ayuden a disminuir un poco la temperatura, como lo puede ser el manejo de la ventilación. Aunque las plantas fueron podadas en las hojas más viejas y las cortinas se mantuvieron abiertas, puede ser que este manejo no sea suficiente para mantener las temperaturas dentro del rango adecuado. Cabe hacer la aclaración que el periodo de tiempo en el que se realizó el experimento es la época más cálida del año en el área de estudio.

Temperatura mínima

No se registraron diferencias significativas en cuanto a la Temperatura mínima, en el plástico amarillo respecto al blanco pero si de ambos con respecto al ambiente exterior (**Cuadro 5**). Es importante señalar que los valores más bajos de Temperatura mínima probablemente se presentaron en las primeras horas de la mañana, en donde independientemente de las condiciones climáticas que imperen el resto del día, las temperaturas suelen descender en el ambiente exterior, además de esto el que durante el periodo de evaluación se

presentaran en su mayoría días nublados esto pudo haber contribuido también a que se dieran valores bajos de temperatura.

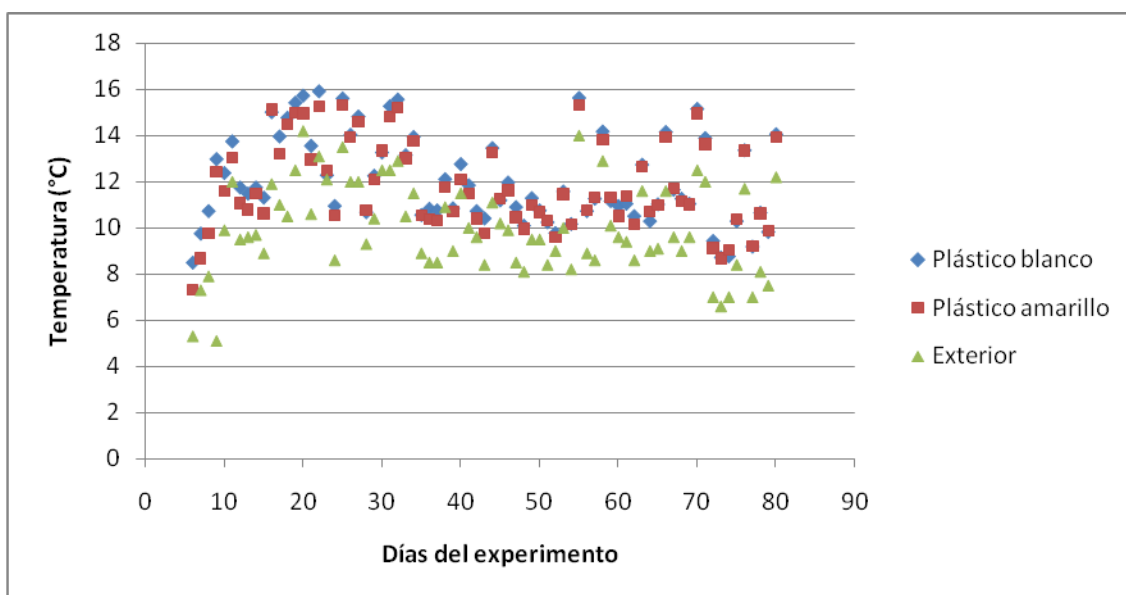


Figura 4. Temperaturas mínimas registradas dentro del plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

De acuerdo a lo anterior se demuestra que independientemente de la cubierta plástica que se utilice (Blanca o amarilla), para las condiciones tanto geográficas como climáticas donde se llevó a cabo la evaluación, la temperatura interna de los tratamientos estuvo entre 1 a 2 °C por encima de la temperatura externa, lo cual en situaciones extremas puede representar la diferencia, esto porque como se aprecia en la **Figura 4**, aunque en el exterior las temperaturas llegaron a estar por debajo de 10 °C durante el día, ambos tratamientos (T2 y T3) tuvieron, en su mayoría, temperaturas mínimas por arriba de los 10 °C. Sin embargo, el que se presentaran estos rangos relativamente bajos, pudo influir en algunos procesos como la polinización de una manera negativa, ya que se logró observar la etapa de cosecha frutos con malformaciones (cara de gato) lo cual se le atribuye al problema antes mencionado.

Castellanos (2009), menciona que cuando la temperatura llega a ser menor a 8 °C pueden verse comprometidos seriamente el desarrollo del tomate y

presentarse problemas de fructificación, ejemplo de ello es la aparición de la cicatrización de la punta de floración (cara de gato).

También cabe señalar que durante el periodo de evaluación, como ya se mencionó, se presentaron algunos días nublados lo cual pudo influir en la temperatura. Sin embargo, más adelante se detalla el comportamiento de los invernaderos en días nublados y despejados ya que los datos arriba mostrados son promedios diarios para todo el periodo de evaluación.

4.2.2. Humedad Relativa

Este es un parámetro climático, que tiene relación estrecha con la temperatura, y que es de suma importancia debido a que afecta el proceso de transpiración lo que puede desencadenar muchos efectos negativos en la planta, si está fuera del rango donde la misma se adapta bien.

Cuadro 6. Comparación de medias de la Humedad Relativa diurna entre los tratamientos con plástico blanco, plástico amarillo y el ambiente exterior.

Variable	T2	T3	Exterior	DMS
HR máxima	91,673 b*	93,277 a	88,680 c	1,4894
HR mínima	26,676 b	26,857 b	31,267 a	3,5584

T2: Cubierta plástica blanca; T3: Cubierta plástica amarillo; DMS: Diferencia mínima significativa.

*Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Para el caso de la humedad relativa máxima, se presenta un caso similar al de las temperaturas, en donde solo se reportaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) para el caso de las temperaturas máximas. Sin embargo, en este caso el tratamiento con plástico amarillo fue el que mayores valores reportó, siendo superior estadísticamente al blanco y al exterior (**Cuadro 6**).

Algunos procesos en que influye la humedad son amortiguamiento de cambios térmicos, regulación del crecimiento de tejidos, viabilidad del polen y desarrollo de enfermedades, principalmente las fungosas. Para evitar

situaciones extremas los rangos de HR no deberán de elevarse más de 80 % y descender por debajo del 50 % (Bautista *et al.* 2008).

Humedad Relativa Máxima

El conocer los valores máximos de la humedad relativa que se registraron dentro de los invernaderos en estudio (plástico blanco y plástico amarillo) permitirá evaluar si tuvieron algún tipo de influencia dentro de algunos sucesos que se presentaron en los mismos, ya que como se mencionó anteriormente la alta humedad relativa favorece la aparición de muchas enfermedades fungosas.

Con respecto al ambiente, se observa que el comportamiento dentro de los tratamientos fue más uniforme (**Figura 5**), ya que los puntos de la humedad relativa presente en el exterior se encuentran más dispersos que los del interior de las unidades experimentales. Sin embargo, nótese que los valores reportados alcanzan valores hasta 95 % de HR, principalmente en el invernadero con cubierta Smart Light RL 1000 (T3).

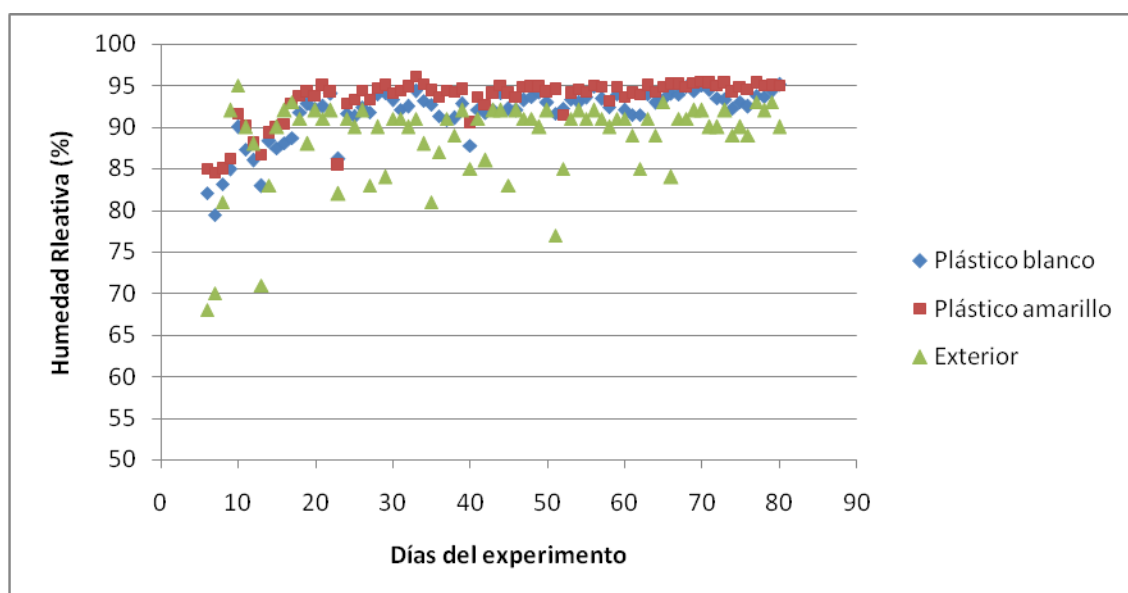


Figura 5. Humedad Relativa, máxima registrada por tratamiento durante el día, en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

Una humedad relativa que se presente en puntos por encima de los recomendados para el desarrollo del cultivo puede dañar la polinización en la

medida en que el polen húmedo se puede pegar en los órganos masculinos o por medio de la formación de grumos, además de que se puede presentar el desarrollo de enfermedades (Huertas 2008).

Humedad relativa mínima

Como se observó en el **Cuadro 6** no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey $P \leq 0.05$), sin embargo, las hay con respecto al ambiente externo. De una manera inversa a lo que sucedió en la humedad relativa máxima, aquí los datos presentados estuvieron en el ambiente por encima de los tratamientos (**ver Figura 6**), oscilando principalmente en rangos de 20-40 %.

La humedad relativa mínima si llega a presentarse en valores menores al 50 % va a provocar daños en la polinización, generándose una deshidratación del estigma (Bautista *et al* 2003).

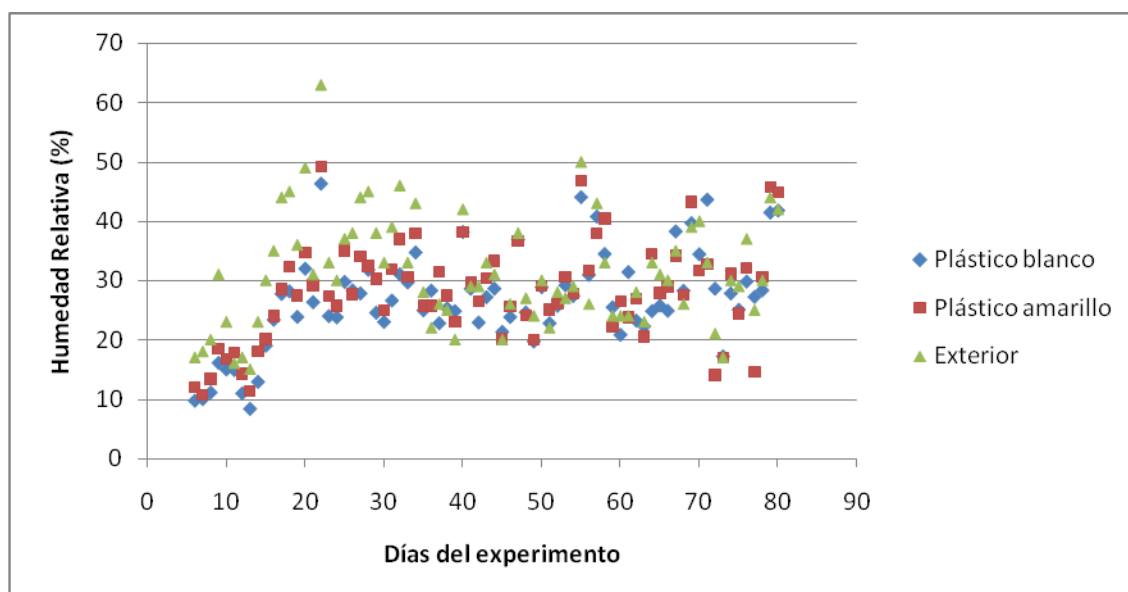


Figura 6. Humedad Relativa, mínima registrada por tratamiento, durante el día, en el periodo de 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

Debido a lo anterior y considerando que los valores presentados fueron muy bajos (menores al 50 %) pudo haberse presentado un efecto negativo en las plantas en cuanto a la polinización principalmente. Los valores tan bajos en la HR pudieron deberse en parte por el clima que imperó en la zona y a que la

ventilación dentro de los invernaderos en que se ubicaron los tratamientos fuera reducida por el crecimiento vigoroso de los cultivos.

4.3. Integral térmica

Esta variable se calculó mediante los datos de temperaturas máximas y mínimas para los tratamientos con plástico blanco, plástico amarillo y el exterior, para poder observar la acumulación de calor que se presentó en los diferentes tratamientos con respecto al exterior para el ciclo del cultivo. Como se puede observar en el **cuadro 7**, como era de esperarse, el tratamiento 2 (plástico blanco) fue el que mayor constante térmica presentó, seguido por el tratamiento 3. Aquí se podría suponer que el invernadero con plástico verde, correspondiente al tratamiento 1, pudiera haber presentado una integral térmica levemente menor al tratamiento 3, esto por cómo se mencionó anteriormente, en un estudio realizado en el 2008, este último plástico mostró un comportamiento intermedio entre el plástico verde y blanco, lo cual lleva a suponer que el tratamiento 1 pudo haber tenido las temperaturas más bajas y por ende una menor acumulación de calor dentro del mismo.

Cuadro 7. Integral térmica (días grado) en el periodo del 06 de junio al 19 de agosto de 2009.

Cubierta plástica			
	blanca	amarilla	Exterior
Integral Térmica	1205,3	1193,9	1001,7

Tratamientos; T2: Cubierta plástica blanca; T3: Cubierta plástica color amarillo

Lo que generalmente pudo verse influenciado en el ciclo del cultivo presente en el plástico blanco fue un aceleramiento en el desarrollo de las plantas que hicieron que al momento de la primera cosecha se obtuviera un mayor número de frutos con respecto a los otros tratamientos. Esto es ampliamente discutido más adelante.

4.4. Interacción entre Temperatura y Humedad Relativa

Como se ha venido mencionado la temperatura y la humedad relativa son factores que van de la mano en cuanto al manejo de un invernadero, ambos deben considerarse en conjunto para poder determinar posibles problemas o por el contrario para mantenerlos dentro de los rangos óptimos para el desarrollo del cultivo.

Además de esto, estos parámetros climáticos van a variar tanto para los días nublados como para los días en que predomine la mayor radiación solar. Por tanto el manejo dentro del invernadero dependerá del clima que predomine en el día.

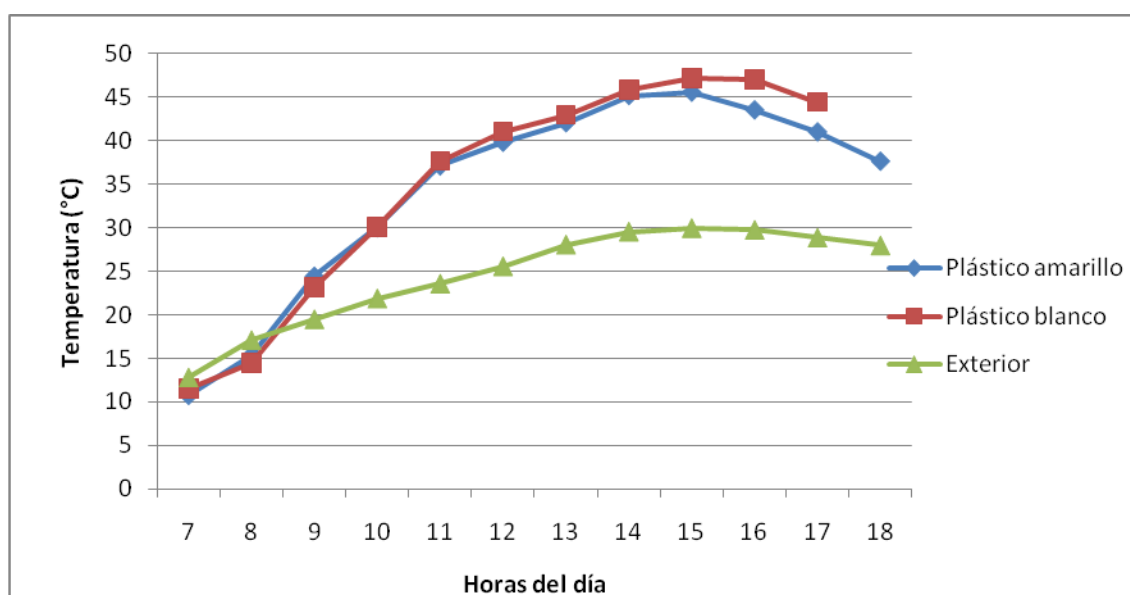


Figura 7. Comportamiento de la temperatura dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día despejado.

Bautista *et al.* (2008), señala que a mayor Temperatura se producirá una disminución en la HR, y cuando esto sucede aumenta el consumo de agua, debido a que las plantas transpiran más y necesitan rehidratarse con mayor regularidad; por el contrario cuando la HR es alta la evaporación y transpiración de las plantas disminuyen.

De manera general se observó que la variación en la temperatura y humedad relativa estuvo más acentuada cerca del mediodía, sobre todo en días despejados se mostró una variación más marcada elevándose la temperatura y disminuyendo la humedad.

De forma particular en ambos invernaderos (plástico blanco y plástico amarillo) y en el exterior de los mismos, fue que conforme avanzaron las horas del día se produjo un incremento de la temperatura mientras que la humedad relativa fue decayendo. Esto sucede principalmente en horas de la mañana, donde tanto el ascenso como descenso de una y otra se da drásticamente, para luego después del medio día mantenerse más o menos constante cerca de los valores alcanzados a esa hora.

En un clima como el que se presenta en la zona donde se llevó a cabo el estudio, el ambiente puede llegar a ser muy cambiante, sin embargo, en verano es posible que se presente un alto número de días despejados por lo cual si se tienen estructuras de cultivos protegidos con cubiertas como las evaluadas y además de una estructura similar, pueden llegarse a dar situaciones extremas durante el día en cuanto a temperatura y humedad relativa que pueden afectar el desarrollo del cultivo así como la fructificación en época de cosecha, esto porque se producirá una elevada transpiración de las plantas que si no se suministra una adecuada cantidad de riego pueden verse afectadas, además de esto los frutos pueden sufrir daños por sol, principalmente en la cubierta con plástico blanco, ya que permite mayor incidencia de luz.

Estas situaciones también pueden deberse al diseño de los invernaderos ya que el no tener gran altura ni apertura cenital puede llevar a condiciones climáticas extremas dentro de los mismos. Es así como el considerar el tipo de cubierta para la producción de invernadero es sólo un factor de importancia ya que también deberán considerarse otros factores como el tipo de diseño y la orientación ya que también pueden incidir en el microclima dentro del invernadero.

Puede que por el diseño de los invernaderos utilizados en la presente investigación la ventilación resultase una limitante para el desarrollo del cultivo, principalmente en las horas donde la temperatura se eleva por encima de lo requerido por la planta (alrededor del medio día).

El viento puede ayudar a reducir la temperatura de las hojas, si la luz del sol llega a elevarla por encima de la temperatura del aire, reduciendo la transpiración (Salisbury y Ross 1994).

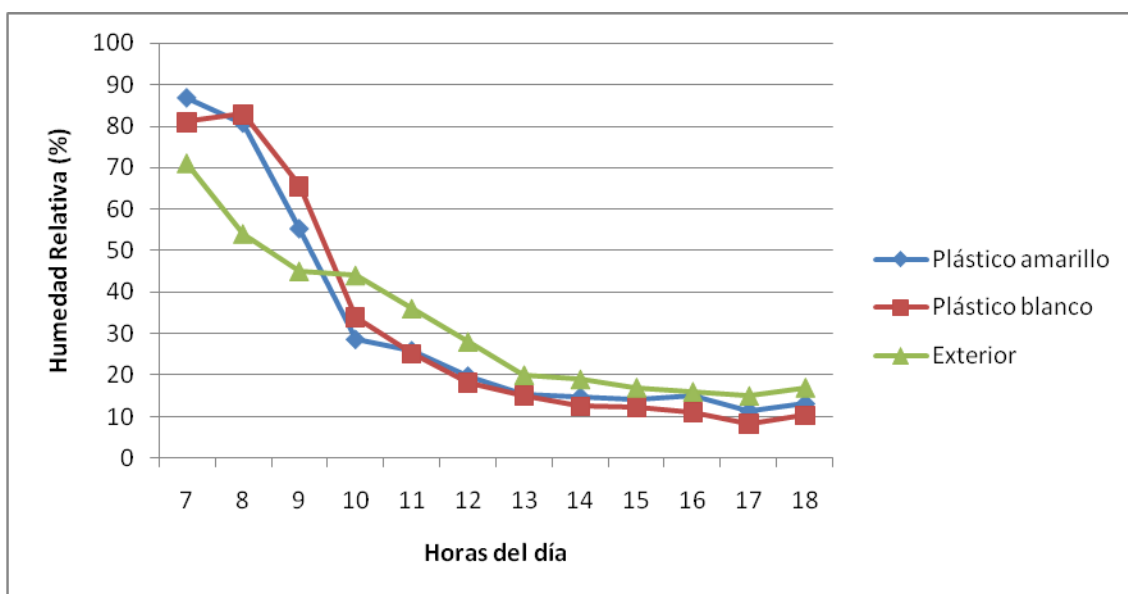


Figura 8. Comportamiento de la Humedad Relativa dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día despejado.

De lo anterior cabe señalar que la temperatura (y por ende la humedad relativa) puede verse afectada de acuerdo al tipo de ventilación que se tenga dentro de la estructura, ya que de este factor depende el intercambio y por tanto renovación del aire entre el interior y exterior del invernadero (Díaz *et al.* 2001).

Huertas (2008), señala que durante períodos cálidos es probable que la humedad relativa disminuya por debajo de los niveles requeridos para el cultivo y debido a esto es necesario implementar técnicas como el riego por aspersión de suelo, plantas y cubierta así como ventiladores recirculadores de aire para poder elevar la humedad relativa. Además de esto el efecto de calefacción que ejerce la radiación solar sobre los invernaderos aumenta la humedad absoluta

del aire ya que hay apertura de estomas y por ende mayor transpiración, a medida que esto sucede la humedad relativa disminuirá con el aumento de la temperatura, llegando a alcanzar bajos valores.

El que se presente una falta de humedad dentro del ambiente de invernadero genera una mayor transpiración lo cual puede conducir a que se den acumulaciones de sales en las partes donde se lleva a cabo la fotosíntesis y por tanto limitar esa función (Serrano 2005).

En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa en días nublados, ambos tratamientos tuvieron condiciones extremas, aun en ausencia de radiación directa, se presentó un pico de temperaturas superiores a los 35 °C entre las 12:00 y 13:00 horas del día. De igual forma cuando esto sucedió la humedad relativa estuvo por debajo de valores del 50 %.

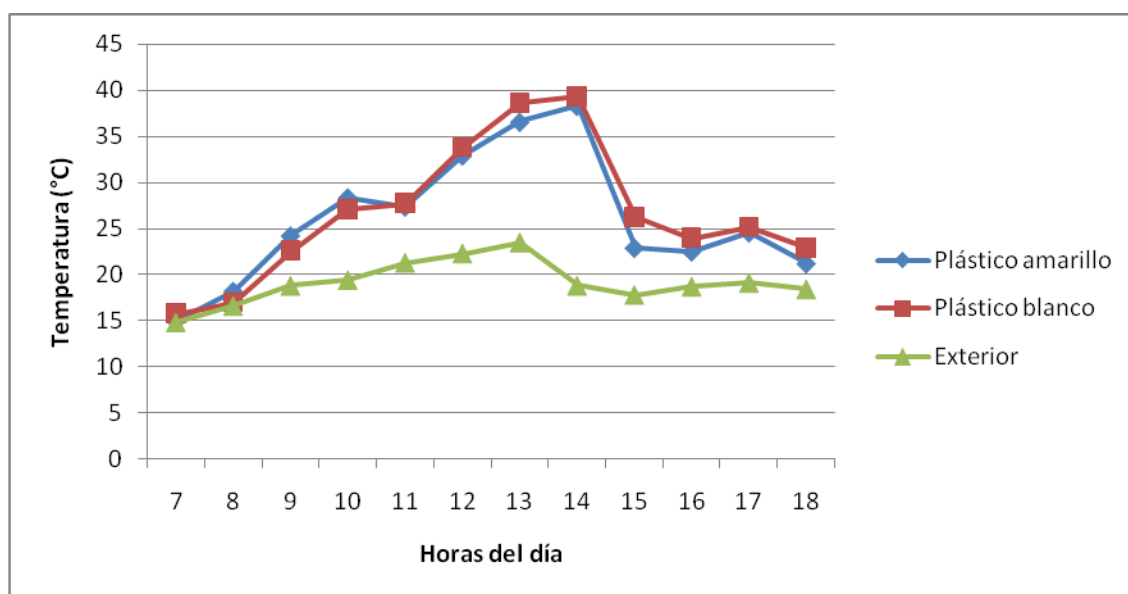


Figura 9. Comportamiento de la Temperatura dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día nublado.

El comportamiento ambiental que se presenta en días nublados se atribuye principalmente al efecto del tipo de radiación, ya que en días despejados esta es en su mayoría directa y la difusión de la misma dependerá en parte al tipo de cubierta que se tenga, mientras que en días donde haya mayor cantidad de nubes, la radiación será difusa tanto en el exterior como en el interior del

invernadero, esto provoca menor temperatura y por tanto un incremento en la humedad relativa, pero se propicia un ambiente menos extremo al interior de los invernaderos.

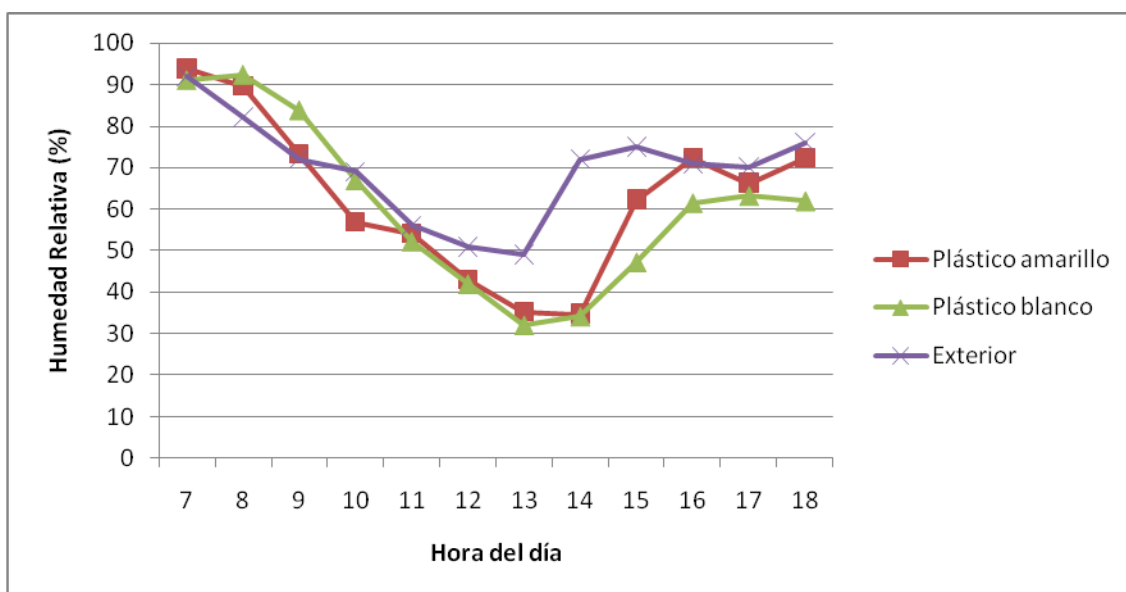


Figura 10. Comportamiento de la Humedad Relativa dentro de los invernaderos evaluados con plástico amarillo, plástico blanco y el exterior en un día nublado.

4.5. Temperaturas y Humedad Relativa durante la noche

Debido a que el cultivo de jitomate necesita cambios de temperatura entre día noche para poder desarrollarse de una manera adecuada, es importante conocer como se comportó el microclima dentro de los tratamientos durante la noche. En este caso y por razones que ya se comentaron, solo serán analizados los datos de los tratamientos de plástico blanco y plástico amarillo.

Cuadro 8. Comparación de medias de Temperatura y Humedad Relativa nocturnas para el periodo de evaluación.

Variable	T2	T3	P
Temperatura media	15,83^a	15,26^b	0,0251
Humedad relativa máxima	89,95^b	92,53^a	0,0002
Humedad relativa mínima	79,39^b	83,00^a	0,0083

Tratamientos; T2: Cubierta plástica blanca; T3: Cubierta plástica color amarillo; DMS: Diferencia mínima significativa.

*Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0,05$) para las temperaturas nocturnas máximas y mínimas, sin embargo para las temperaturas medias si hubo diferencias entre tratamientos (**cuadro 8**) ($P=0,0251$).

En cuanto a la humedad relativa solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0,05$) entre tratamientos para las máximas y mínimas. Siendo las máximas humedades relativas para el T3 (92 %) de igual forma que la mínima (83 %).

Las temperaturas dentro de un invernadero en el periodo nocturno para el cultivo del jitomate deben de ser aproximadamente entre 15-17 °C con un porcentaje de humedad relativa de 70. Ambos tratamientos, plástico blanco y plástico amarillo, mostraron temperaturas medias de 15 °C (**Cuadro 8**), sin embargo, la humedad relativa sí fue un poco alta con relación a lo recomendado y se vio más acentuado en el T3 (polietileno amarillo). No obstante, por la noche la temperatura fue adecuada principalmente para el desarrollo de los frutos y la floración.

Este comportamiento se presentó debido a que el polietileno de color amarillo presenta menos calentamiento que el blanco durante el día; esto mismo provoca que la condensación de calor interna sea menor en este mismo plástico y por tanto el aire tiene menos capacidad de contener agua en forma de vapor y eso es lo que provoca que se mantenga más alta la humedad relativa en este tratamiento. Por esta causa el plástico amarillo (T3) facilita que la humedad relativa permanezca más alta en comparación con el plástico blanco (T2), y a su vez facilita que en las horas más frías (temperatura mínima) se alcance el punto de rocío y con ello la posibilidad de que se presenten enfermedades del tipo fungosas.

4.6. Análisis de las variables del cultivo

A continuación se detallan las variables que expresan el comportamiento agronómico del cultivo del jitomate bajo las tres cubiertas plásticas evaluadas.

Cuadro 9. Cuadrados medios de análisis de varianza para las variables del cultivo.

Variable	Fecha de evaluación (DDT)	Cuadrados Medios	Coefficiente variación
Altura	30	403,61 **	5,23
	55	1480,97 **	4,46
	120	1258,02 **	5,04
Grosor del tallo	30	1,37	6,27
	55	9,43 **	3,35
	120	5,55 **	3,69
Peso Seco Hojas	32	989,09 **	10,39
	73	10,82 *	10,82
	100	2728,96 **	22,67
Peso Seco Tallos	32	103,89 **	7,74
	73	27,00	8,58
	100	88,34	8,84
Peso Seco Frutos	32	250,88 **	26,32
	73	15238,59 **	25,86
	100	15543,19 **	12,48
Área Foliar	32	10570010,30 **	10,93
	73	67828459,50 **	11,70
	100	30143093,59 *	21,02
Rendimiento por planta		5,04*	8,85

* significativo ($p \leq 0,05$), **altamente significativo ($p \leq 0,01$). DDT: días después del transplante

De acuerdo al **Cuadro 9**, solamente no se encontraron diferencias significativas para las variables grosor de tallo a los 30 DDT y peso seco de tallos a los 73 y 100 DDT, en todos los demás casos si se registraron diferencias estadísticamente significativas.

4.6.1. Altura de la planta

Se encontró que para el primer muestreo el Tratamiento de plástico verde mostró diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) con respecto a los tratamientos de plástico blanco y plástico amarillo, situación que se mantuvo durante los demás muestreos, mostrando que la falta de transmisión de luz en esta cubierta (**cuadro 3**) provocó una elongación mayor en las plantas.

Cuadro 10. Comparación de medias en altura de plantas de tomate, variedad imperial, creciendo bajo 3 tipos de cubierta plástica.

Fecha	Cubierta plástica			DMS
	verde	blanca	amarilla	
30 DDT	101,750 a*	91,084 b	88,291 b	6,4185
55 DDT	212,540 a	187,584 b	190,668 b	11,488
120 DDT	241,124 a	224,375 b	216,583 b	14,986

DMS: Diferencia mínima significativa. DDT: días después del transplante. *Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Como se observa en el **Cuadro 10**, las plantas del tratamiento con plástico verde alcanzaron mayor altura en todas las fechas de muestreo y esto debió ser por la poca transmisión de luz que tiene este plástico (50 %) y por la gran cantidad de luz que difunde (80 %) (**Cuadro 3**).

Cuando se monitorea el crecimiento de una planta, es posible evaluar si su condición se encuentra un estado de equilibrio con respecto a las condiciones vegetativas y reproductivas. En el caso de la primera se refiere a las primeras etapas de la planta, cuando se da su crecimiento y desarrollo y toda la energía se destina al crecimiento de las raíces y follaje. En el caso del estado generativo, también conocido como reproductivo, es cuando la planta entra en esta etapa y destina la mayor parte de su energía a ese proceso, sin embargo, si existe un excedente, es usada para procesos específicos que se requieren en el momento.

Se considera que las planta de tomate tipo bola, para mantener un equilibrio adecuado, deben presentar un crecimiento semanal de 20 a 21 cm. Valores

superiores a estos representan una planta en estado vegetativo y de la manera contraria sería un estado generativo (Castellanos 2009).

Ahora bien, debido a que el monitoreo no se hizo cada siete días, no es posible observar el crecimiento cada semana, sin embargo, podría estimarse un promedio de crecimiento por día a partir de los datos obtenidos, considerando que hay 25 días desde el primer muestreo al segundo, se valoró lo que creció la planta en ese periodo, luego se dividió entre el número de días y de esta forma es posible, al multiplicar por siete, tener una aproximación del crecimiento por semana de la planta. Estimado de esta forma, se encontró que a esa fecha (55 DDT) las plantas de los tres tratamientos evaluados se encontraban en una condición muy vegetativa, esto debido a que todas presentaban crecimientos superiores a los 27 cm, por semana (T1: 31 cm., T2, 27 cm., T3: 28). Sin embargo, esto puede deberse a la etapa del ciclo del cultivo en la que se encontraban y en la cual el desarrollo vegetativo predomina.

4.6.2. Grosor de tallo

De igual manera que la altura de la planta, se realizaron 3 mediciones para observar el crecimiento del grosor del tallo (**Cuadro 11**), al mes del transplante no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$), algo similar se observó a los 55 y 120 DDT para los tratamientos de plástico verde y plástico amarillo. La pauta la marcó en este caso el plástico blanco en el cual si se presentaron diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) a los 55 y 120 DDT. con respecto a los otros dos tratamientos.

Cuadro 11. Comparación de medias del grosor del tallo para las plantas de tomate, variedad imperial, creciendo bajo diferentes cubiertas plásticas.

Fecha	Grosos del tallo (mm) para cada cubierta			DMS
	verde	blanca	amarilla	
30 DDT	14,700 a*	14,981 a	14,430 a	1,192
55 DDT	15,054 b	12,008 a	15,214 b	0,692
120 DDT	16,162 b	17,827 a	16,968 b	0,821

DMS: Diferencia mínima significativa. DDT: días después del transplante. *Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

De acuerdo a lo anterior, se deduce que el tipo de cubierta de color verde y amarillo no produce efecto diferente sobre el grosor del tallo. Además de esto presentaron un menor grosor con respecto a las plantas del tratamiento con plástico blanco, esto porque ambas poseen una menor transmisión de luz (**ver Cuadro 3**) lo que junto el clima nublado que se presentó en esos días pudo contribuir a la elongación de los tallos. Andriolo *et al.* (1998), señala que la etiolación de las plantas puede ser influida por altos valores de temperatura y una baja radiación.

4.6.3. Biomasa de las diferentes partes de la planta

En el muestreo de materia seca de hoja, solo se encontraron diferencias estadísticamente significantes en dos fechas, 32 y 100 DDT; en la primera fecha el plástico blanco supera a los otros dos y el verde también supera al amarillo; en gran medida se justifica que el polietileno blanco acumule más materia seca en hojas debido a que es el que más radiación deja ingresar al invernadero y a que es donde más temperatura se genera y más calor se acumula; esto facilita el endurecimiento y esclerosamiento de los tejidos, producto de mayor fijación de carbono. En el caso de que el plástico verde presente más materia seca en hojas que el amarillo, para la primera fecha, tal vez se deba a que permite el ingreso de mucha radiación difusa (**cuadro 3**); para el caso de la segunda fecha tanto el polietileno blanco como amarillo resultan ser estadísticamente superiores al verde y es de esperarse, ya que al final del ciclo la poca radiación que ese último permite ingresar al invernadero debe provocar un gran sombreamiento de las hojas inferiores del dosel y por tanto la biomasa total que se puede acumular resulta ser menor que en los casos donde ingresa mayor cantidad de luz (plástico blanco y amarillo).

Cuadro 12. Comparación de medias del peso seco de hojas, tallo y frutos en el cultivo de tomate, variedad imperial, cultivado bajo tres diferentes cubiertas plásticas.

Peso Seco (g)	Cubierta plástica			DMS
	verde	blanca	amarilla	
Hojas				
32 DDT	41,483 b*	56,011 a	34,166 c	5,9647
73 DDT	79,613 a	91,844 a	89,600 a	12,323
100 DDT	65,950 b	90,100 a	102,23 a	25,536
Tallos				
32 DDT	19,748 b	24,016 a	16,852 c	2,0454
73 DDT	51,181 a	54,781 a	53,619 a	5,9733
100 DDT	62,263 a	63,239 a	68,444 a	7,4814
Frutos				
32 DDT	9,780 b	15,400 a	4,200 c	3,3733
73 DDT	117,000 b	202,200 a	143,160 b	52,155
100 DDT	120,930 b	195,010 a	199,340 a	28,05
Total parte aérea	587,630 c	792,600 a	711,610 b	69,849

DMS: Diferencia mínima significativa. DDT: días después del transplante. *Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

En cuanto a la materia seca de los tallos, solo se presentaron diferencias significativas a los 32 DDT (Tukey, $P \leq 0.05$) en donde el mayor peso de materia seca en tallos le correspondió al plástico blanco y la causa puede ser la misma argumentada con anterioridad.

Al analizar la materia seca acumulada en frutos se observa que el tratamiento con plástico blanco es superior a los demás en dos de las fechas de muestreo; sin embargo es igual al tratamiento con plástico amarillo en la última fecha; aquí impera el mismo argumento de que a mayor cantidad de radiación que ingresa a los invernaderos mayor es la cantidad de materia seca que se acumula, excepto para la primera fecha en donde el tratamiento con plástico verde supera estadísticamente al de color amarillo (Tukey, $P \leq 0.05$), esto pudo deberse a que este difunde mayor radiación dentro del invernadero lo que facilita la realización de mayor cantidad de fotosíntesis, sobre todo en hojas superiores del dosel que son las que principalmente abastecen de fotoasimilados a la mayor parte de los frutos.

El que los tratamientos con plástico blanco y plástico amarillo alcanzaran mayores valores en cuanto al peso en seco de las diferentes partes de la planta puede estar relacionado directamente con la cantidad de radiación a la que estuvo expuesto el cultivo. Anteriormente se mencionó que ambos tratamientos poseen mayor radiación con respecto al plástico verde (**Cuadro 3**).

Con respecto a la materia seca acumulada, se encontró que el tratamiento con plástico blanco presentó los valores más altos tanto para hojas, tallos y frutos, lo cual pudo estar influenciado por la incidencia de radiación sobre el cultivo en ese invernadero. Contrario a esto el tratamiento con plástico verde presentó menor acumulación de MS para las diferentes partes de la planta (hojas, tallos, frutos) y es el que menor cantidad de radiación permite pasar.

Andriolo *et al.* (1998) señala que para el *Lycopersicon esculentum* (variedades Carmen y Diva) la acumulación de la biomasa depende principalmente de la cantidad de radiación que reciba el cultivo; desde luego esto dentro de ciertos límites.

4.6.4. Área foliar

Para el análisis de esta variable, como se mencionó en la parte de metodología, se hizo mediante estimación del largo y ancho de la hoja, en tres tiempos durante el ciclo del experimento.

Al interpretar el comportamiento del área foliar se puede deducir que a medida que el cultivo estuvo expuesto a diferentes condiciones de radiación, el tratamiento en que mayor área foliar se presenta, coincide con la menor transmisión de luz, esto a los 73 DDT, este comportamiento fue similar para los plásticos de color amarillo y verde que son los que limitan en alguna medida el paso de la luz. Contrario a esto el plástico blanco fue el que presentó menor área foliar con respecto a los otros dos tratamientos.

El mayor crecimiento foliar se dio donde menor incidencia de radiación se presentó debido a que a medida que la planta crece, se da una mayor expansión foliar en la búsqueda de satisfacer las necesidades de luz.

Cuadro 13. Comparación de las medias de área foliar para el cultivo de tomate bajo tres cubiertas plásticas diferentes.

área foliar (cm ²)	Cubierta plástica			DMS
	Verde	Blanca	Amarilla	
32 DDT	7642,700 a*	8488,100a	6214,000b	1065,1
73 DDT	16971,400 a	11177,500c	14582,900b	2181
100 DDT	11037,000ab	10751,000b	14241,000a	3304,6

DMS: Diferencia mínima significativa. DDT: Días después del transplante. *Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.6.5. Rendimiento por planta

El mayor rendimiento por planta se obtuvo usando el plástico de color blanco, y estadísticamente todos los tratamientos fueron diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$), siendo el plástico verde el que menor producción por planta obtuviera (ver **Cuadro 14**). Esto pudo deberse a la poca radiación que permite pasar la cubierta del tratamiento con plástico verde (ver **Cuadro 3**), también pudieron haber influido otros aspectos como la temperatura y humedad relativa, lo cual no es posible constatar debido a la falta de datos. El mejor comportamiento en la producción total del plástico blanco pudo deberse a que es el que mejor comportamiento tiene al acumular 21,29 Mjoulles/m²/día y el tomate responde muy bien a la acumulación diaria de energía de entre 14 y 16 Mjoulles/m²/día (Castellanos 2009).

Cuadro 14. Comparación de las medias de la producción total por planta de tomate, variedad imperial, en tres diferentes plásticos.

	Cubierta plástica			DMS
	Verde	Blanca	Amarilla	
Producción por planta (kg)	4,0728 c*	5,6526 a	5,0035 b	0,5687

DMS: Diferencia mínima significativa. DDT: días después del transplante.*Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Una baja iluminación conlleva a un efecto desfavorable en los primeros racimos, también la temperatura influirá en el transporte de asimilados hacia los racimos en fructificación ya que a temperaturas día/noche de 30 °C/24 °C el movimiento se dará más hacia los racimos a expensas de las raíces (Nuez, 2001).

4.6.6. Peso medio por fruto

Se considera que el fruto de tomate variedad imperial, más grande, se encuentra al rededor de los 260 g. En cuanto a los promedios de los pesos de los frutos obtenidos entre los 3 tratamientos evaluados, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se puede considerar de esta manera que los frutos de tamaño chico pesaron en promedio 25,2 gramos, mientras que los medianos tuvieron pesos alrededor de los 86 g, los frutos grandes, que fueron los mayormente comercializados, alcanzaron pesos en promedio de 167 g, por fruto y los extra grandes valores superiores a los 250 g (**Cuadro 15**).

Cuadro 15. Promedio de peso de los frutos cosechados, de acuerdo a su clasificación según su diámetro ecuatorial.

Clasificación	Chicos	Medianos	Grandes	Extra grandes
Peso (g)	25,25	86,67	167,67	273,00

Nota: Estos promedios no se separan por tratamiento ya que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Los pesos obtenidos para los frutos, en especial los clasificados como grandes, fueron ideales para su comercialización, lo cual indica que la calidad de los frutos producidos en ambos invernaderos se ajusta a la preferencia del mercado, sin embargo, como ya se discutió anteriormente cada tratamiento va a influir en la producción total, por lo que aunque se obtengan frutos de buena calidad se debe considerar también que la producción por planta puede ser mayor o menor de acuerdo a la cubierta utilizada.

4.6.7. Días a inicio y fin de cosecha

Los resultados que se presentan a continuación son redondeados a un número de 300 plantas por tratamiento para poder comparar equitativamente tanto número de frutos como kilogramos de producción, esto debido a que algunas plantas murieron por diferentes efectos a lo largo de la evaluación además de las que fueron retiradas para los muestreos destructivos y principalmente porque debido a las dimensiones donde se estableció el tratamiento con plástico amarillo se contó con menor número de plantas en esa unidad experimental.

No es posible estimar si algún invernadero fue más precoz que otro en cuanto a los días a inicio de cosecha, ya que la primera colecta de frutos se realizó de igual forma para los tres tratamientos el día 15 de agosto y se concluyó de igual manera el 15 de octubre, sin embargo, existe un factor importante llamado producción, el cual es determinante para cualquier sistema ya que de él depende que tan rentable sea en este caso el cultivo.

Los frutos se clasificaron de acuerdo a su tamaño con base en el diámetro distal (**Cuadro 16**). Se encontró que el plástico verde tuvo un mayor número de frutos pequeños, los cuales se consideran al momento de la colecta como frutos de desecho y lo cual no es muy rentable, en este caso si se obtiene un gran número de frutos con este tamaño, sin embargo, también se reportaron altas cantidades en los demás tratamientos.

Posiblemente la presencia de muchos frutos de tamaño chico se debió a problemas en la polinización lo cual generó un alto número de frutos vacíos (sin semillas) que no alcanzaron gran tamaño.

Cuadro 16. Número de frutos y su clasificación de acuerdo a tamaño, colectados en todo el periodo de cosecha, para los tres tratamientos en 300 plantas cada uno.

Tratamiento	Chicos	Medianos	Grandes	Extra Grandes	Total
1	256	1402	4433	1701	7792
2	206	1516	5131	2862	9715
3	188	1211	4653	2537	8589

Todos los tratamientos presentaron su mayoría de producción en frutos grandes, lo cual es un buen indicador ya que es un tamaño altamente comerciable. Sin embargo, cabe resaltar que el tratamiento con plástico blanco fue en el que mejor cosecha se obtuvo al tener un gran número de frutos tanto grandes como extra grandes (**Cuadro 16**) lo cual también se verá reflejado en los kilogramos producidos.

En el sector productivo es muy importante las fechas a partir de la cual se empieza a cosechar ya que el precio no es constante debido a la oferta y demanda, el obtener mucha o poca cantidad en un momento determinado de la cosecha va a representar la oportunidad de poder alcanzar un buen precio o todo lo contrario.

De acuerdo a esto y como se mencionó anteriormente se puede deducir que el invernadero de plástico Tinuvín 494 (blanco) puede alcanzar una mayor producción en sus cosechas con respecto a los demás plásticos evaluados, pero que ninguno de los tratamientos va a presentar algún grado de precocidad al momento de iniciar la cosecha, ya que no se encontraron diferencias significativas al evaluar la variable de precocidad en las tres primeras cosechas en cuanto a la producción de los mismos (Tukey $p \leq 0.05$). Lo que sí es importante rescatar es que para la primera cosecha la mayor producción fue para la cubierta plástica blanca y que si a esa fecha se logra alcanzar un alto precio este tratamiento va, en este caso, a tener ventaja sobre los demás.

Como se observa en la **Figura 11**. la producción sobrepasó la tonelada por invernadero (para 300 plantas) de acuerdo al tratamiento. Siendo el tratamiento con polietileno verde el más afectado con menor rendimiento, esto puede deberse, en parte, a la poca radiación que se dio dentro del invernadero y a los días nublados que prevalecieron durante la investigación lo cual pudo generar un alto sombreado entre las plantas principalmente en la parte baja de las mismas afectando la producción y calidad de los frutos.

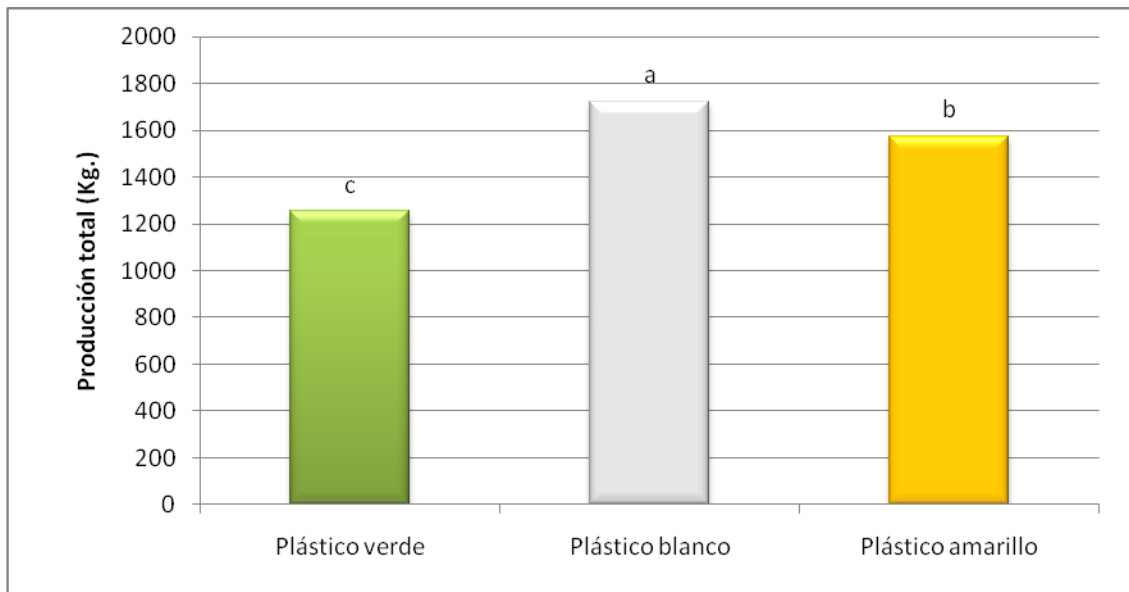


Figura 11. Producción total en 300 plantas por tratamiento.

Aunque el invernadero con cubierta plástica blanca fue el que mayor productividad alcanzó, se debe considerar que el clima que imperó en la zona, principalmente de días nublados pudo haber ayudado a que se dieran condiciones óptimas para una alta producción con respecto a los otros, sin embargo, como ya se mencionó, este tratamiento puede llegar a alcanzar altas temperaturas, principalmente en días despejados, lo cual puede contribuir a que se afecten los procesos fisiológicos de las plantas.

De acuerdo a la **Figura 12** el tratamiento con plástico blanco siempre estuvo como el que mayor producción mostró a lo largo de los cortes, a excepción del corte 3 en donde solo fue necesario cosechar los frutos de los Tratamientos con plástico verde y plástico amarillo. Estos datos fueron recolectados para un total de seis racimos los cuales se obtuvieron en un periodo de dos meses aproximadamente.

Es claro que si se llevaran estas plantas a un ciclo de vida mucho mayor, la producción aumentaría un poco más, sin embargo, se deben tener en cuenta otros factores como lo son la aparición de enfermedades. Cabe destacar que, de los tres tratamientos no presentaron problemas extremos de plagas o enfermedades, principalmente porque se manejó un ciclo corto del cultivo. Los

problemas fitosanitarios que alcanzaron a presentarse se discuten a continuación:

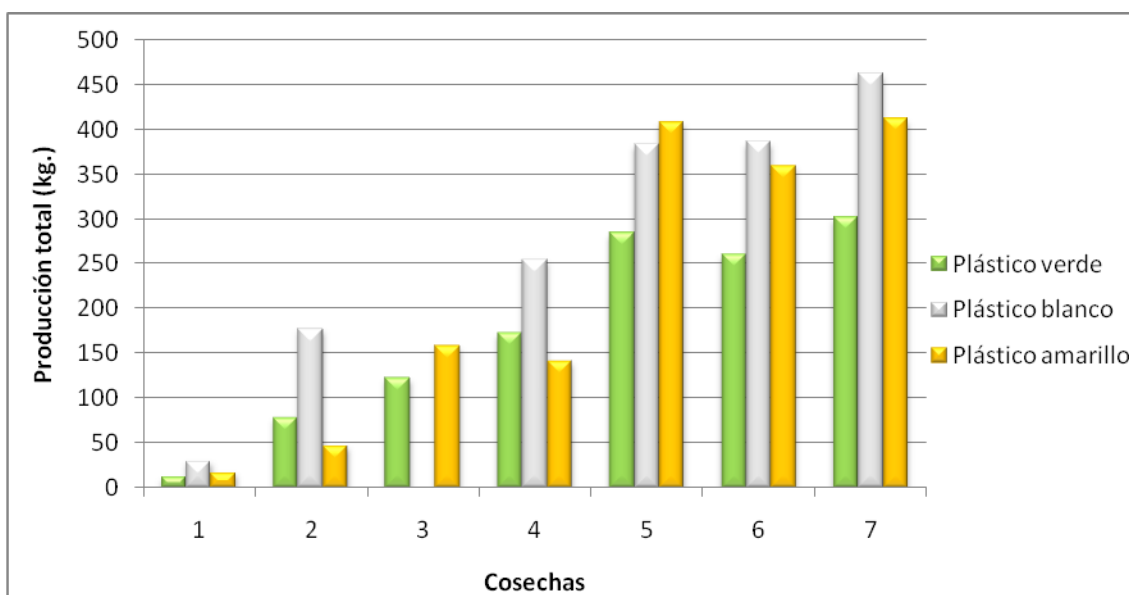


Figura 12. Producción por tratamiento y por corte en 300 plantas durante el periodo de 15 de agosto a 15 de octubre de 2009.

4.6.8. Problemas fitosanitarios presentados en las plantas

Se observó que en el invernadero con cubierta plástica Tinuvín 494 (blanco) se presentaron al momento de la cosecha frutos con síntomas de podredumbre apical, lo cual es un problema asociado con la asimilación de calcio por parte de los frutos; esto pudo deberse al estrés hídrico que sufrieron las plantas bajo este tratamiento ya que al tener una mayor luminosidad (**Cuadro 3**) y calentarse más el ambiente dentro del mismo (**Cuadro 5**) debido a las altas temperaturas acompañadas de baja humedad relativa, pudieron propiciar las condiciones para la aparición de la podredumbre también conocida como *Blossom End Rot* (BER).

Castellanos 2009, señala que factores como la disponibilidad de agua y humedad relativa pueden afectar el transporte del Ca. Cuando se reduce la absorción de agua se reduce también la absorción de este elemento, esto aunado a una baja humedad relativa, altas temperaturas y alta luminosidad hace que se produzca un incremento en la transpiración de las plantas, y al

tener las hojas una tasa de transpiración mayor que los frutos, hace que se transloque el Ca hacia ellas y no hacia estos últimos.

Otro problema que se dio en el cultivo fue la aparición de enfermedades fungosas como la Botrytis (*Botrytis cinerea*), principalmente en los invernaderos con menor transmisión de luz (plástico verde y plástico amarillo) en donde, en este caso del plástico amarillo presentó altas humedades relativas que pudieron influir en la aparición de la enfermedad.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en las que se evaluó el presente trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

Sobre variables del ambiente:

- 1) El comportamiento de los diferentes plásticos en cuanto a la incidencia de radiación estuvo de la siguiente manera: el plástico **Tinuvín 494** o plástico blanco fue el que permitió el mayor paso de radiación pero fue el que menor difusión de la misma provocó, al mismo tiempo, es que más radiación ultravioleta deja pasar. El polietileno verde que contiene un complejo a base de níquel, tuvo un comportamiento inverso al blanco, permitiendo menos ingreso de radiación, pero difundió en mayor medida la misma. Referente al plástico **Smart Light RL 1000** de color amarillo tuvo un comportamiento intermedio a los otros dos.
- 2) Referente al comportamiento térmico en los diferentes tratamientos; hay una concordancia con la forma en que se presentó la radiación; a medida que más luz ingresó en los distintos tratamientos, mayor fue la temperatura y cuando hubo menos radiación, menor temperatura se registró y esto ocurrió tanto en temperaturas máximas como mínimas.
- 3) La forma en cómo se comportó la humedad relativa también tiene concordancia con la forma en cómo se presentó la temperatura. En los momentos de temperatura máxima fue donde se registró la menor humedad relativa y esta fue inferior en los tratamientos con respecto al exterior y en los momentos de mínima temperatura se presentó la máxima humedad relativa y siempre fue superior al exterior.

Sobre las variables del cultivo:

El comportamiento en las variables evaluadas en la planta muestra concordancia con las variables mostradas en el ambiente

- 1) El mayor crecimiento y expansión foliar del cultivo se presentó en el tratamiento más sombreado que correspondió al polietileno verde con un complejo a **base de níquel** lo cual fue desfavorable en variables reproductivas.
- 2) La mayor acumulación de materia seca en los diferentes órganos, el grosor del tallo, así como el rendimiento, expresado este tanto en peso como en tamaño de fruto, se presentaron al cubrir con el plástico **Tinuvín 494** de color blanco ya que este generó las condiciones ambientales más propicias, respecto a los demás, para el crecimiento y desarrollo del tomate.
- 3) El plástico **Tinuvín 494** de color blanco es el que mejores condiciones genera para el cultivo de tomate en el área de estudio y en la temporada que se llevó a cabo la evaluación, se vio reflejado tanto en rendimiento como en tamaño de fruto.

6. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta los resultados y conclusiones del presente trabajo se realizan las siguientes recomendaciones:

Evaluar los plásticos en condiciones extremas que permitan ver el desarrollo de los cultivos desde otra perspectiva, como el caso del plástico blanco en condiciones donde predomine la nubosidad y la poca radiación así como plástico amarillo y verde en condiciones donde mayormente se presenten días despejados y altas temperaturas.

Evaluar los plásticos en diferentes tipos de invernadero de manera tal se pueda comprobar si pueden mejorar los resultados de los plásticos con menor transmisión de luz cuando se manejan otros aspectos como lo son la ventilación.

Evaluar variables que permitan establecer de una manera más directa como se distribuye la luz sobre el dosel del cultivo como lo es el coeficiente de extinción.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderlini, R. 1983. El cultivo del tomate. Ediciones CEAC. Barcelona, ES. 108 p.
- Agrios, G. 1985. Fitopatología. M Guzmán, Trad. Limusa. US. 756 p.
- Alpizar, L. 2004. Hidroponía: cultivo sin tierra. Cartago, C.R. Tecnológico de Costa Rica. 108 p.
- Andriolo, J.L., Streck, N.A., Buriol, G.A., Ludke, L., Duarte, T.S. 1998. Growth, development and dry-matter distribution of a tomato crop as affected by environment. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 73 (1) 125-130.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y características. Mundi-Prensa. Madrid, ES. 172 p.
- Aung, L.H. 1976. Effect of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 101: 358-360.
- Barrientos, Z., Apablaza, H., Norero, S., Estay, P. temperatura base y constante térmica de desarrollo de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (lepidóptera: Gelechiidae). *Ciencia e Investigación Agraria*. 25 (3): 133-137. Consultado 15 abr. 2010. Disponible en:
<http://orton.catie.ac.cr/cgibin/wxis.exe/?IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=025098>
- Bastida, A. 2006. Manejo y Operación de Invernaderos Agrícolas. UACH. Dpto. de Preparatoria Agrícola. México. 237 p.
- Bastida, A. 2009. Panorama de los invernaderos en México y el mundo. Notas del 2do. Curso de especialización en horticultura protegida. Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, MX.
- Bastida, A., Ramírez, J. A. 2002. Invernaderos en México: diseño, construcción y manejo. Chapingo, MX. Agribot. 163 p.
- Bautista, N., Alvarado, J. 2005. Producción de jitomate en invernadero. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, MX.. 265 p.
- Bautista, N., Chavarrín, C., Valenzuela, F. 2008. Jitomate: tecnologías para su producción en invernadero. 2 ed. Texcoco, MX. Colegio de Posgraduados. 213 p.

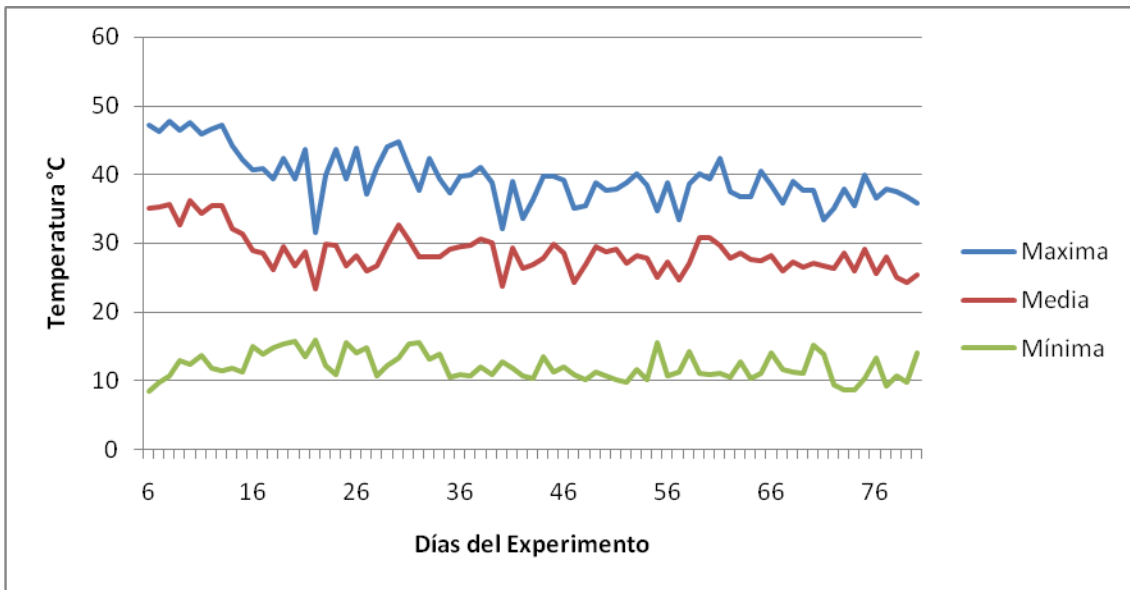
- Blancard, D. 2002. Enfermedades del cultivo del tomate: observar, identificar, luchar. Trad. A Peña. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 212 p.
- Cadenas, F., González, J., Hernández, M. 2008. Técnicas de producción en Cultivos Protegidos. Camacho, F. comp. Almería, ES. Cajamar. Tomo 2, 775 p.
- Canchola, R. 2001. Efectos de MM 2001 en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de hidroponía en invernadero. Tesis Profesional. Chapingo, MX. Departamento de fitotecnia. UACH. 55 p.
- Catellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Gto, MX. Intagri. S.C. 460 p.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 462 p.
- CEPLA (Comité español de plásticos en agricultura). 2008. El plástico abre campos (en línea). Madrid, ES. Consultado 04 oct. 2008. Disponible en http://www.cepla.com/empresas/cepla_comite/folleto/Folleto%20campos.pdf
- CIDH (comisión para la investigación y defensa de las hortalizas). 2008. Exportación total (en línea). Culiacán, Sinaloa, MX. Consultado 22 nov. 2009. Disponible en http://s3.esoft.com.mx/esofthands/include/upload_files/4/Archivos/%5Ci20090211120631Exportacion%20Total%2007-08.pdf
- Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas (X) (mayo, 2003, Pontevedra, ES.) 2003. Evaluación de dos sistemas de control de plagas en tomate: IPM vs control químico bajo plástico convencional y antiplagas. J.C. Gázquez, J.C. López, D. Meca. Almería, ES.
- Congreso internacional de nuevas tecnologías agrícolas (V) (mayo, 1999, Puerto Vallarta, Jal., MX.) 1999. La calidad de plásticos en invernaderos. J. Núñez. Murcia, ES.
- Congreso internacional de nuevas tecnologías agrícolas (V) (mayo, 1999, Puerto Vallarta, Jal., MX.) 1999. Cómo elegir un invernadero: un poco sobre tecnología de invernaderos. M. Gazit. Israel.
- Conti, M., Gallitelli, D., Lisa, V., Lovisolo, O., Martelli, G.P. Ragozzino, A. Rana, G.L., Vovlas, C. 2000. Principales virus de las plantas hortícolas. J.M. Mateo trad. Mundi-Prensa. Milano, IT. 206 p.
- Curso Internacional sobre la Producción de Hortalizas en Invernadero (2003, Guanajuato, MX). 2003. Condiciones ambientales en invernaderos no climatizados. J. Castellanos. J. Muñoz. México. INIFAP. 87 p.

- Defina, A., Ravelo, A.C. 1975. Climatología y fenología agrícolas. Universitaria de Buenos Aires, Argentina. Sp.
- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J.C., López, J., Salmerón, A. 2001. Los Filmes Plásticos en la producción Agrícola. Mundi-Prensa. Madrid, ES. 108 p.
- Fernández, V.M. 2009. Manejo integrado de plagas y enfermedades. In Notas del 2º Curso de Especialización en Horticultura Protegida. Módulo V. Memoria. Universidad Autónoma Chapingo. MX.
- Greyson, R.I., Sawhney, V.K. 1972. Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. Botanical Gazette. 133 (2): 184-190.
- Gil, I., Sánchez del Castillo, F., Miranda, I. 2003. Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, MX. Agribot. 90 p.
- Gómez, O., Casanova, A. 2000. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. La Habana, CU. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". 159 p.
- Hanan, J. 1998. Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. US. CRC Press. 684 p.
- Halfacre, R., Barden, J. 1984. Horticultura. Trad.FA. Bellomo. Azteca. Distrito Federal, MX. 727 p.
- Hernández, J. Escobar, I. Castilla, N. 2002. La radiación solar en invernaderos mediterráneos (en línea). Horticultura. 157 18-27. Consultado 20 nov. de 2009. Disponible en http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_2001_157_18_2_7.pdf
- Huerres, C., Carballo, N. 1988. Horticultura. La Habana, CU. Pueblo y educación (reimp. 1992). 192 p.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. Hortícola. 205: 52-54
- Jones, J. 2001. Plagas y enfermedades del tomate. Jiménez, M. trad. Almería, ES. Mundi-Prensa. 54 p.
- Lara, A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra. 17 (3): 221-229.
- Latorre, G. 1999. Enfermedades de las plantas cultivadas. 5 ed. Alfaomega. CL. 646 p.

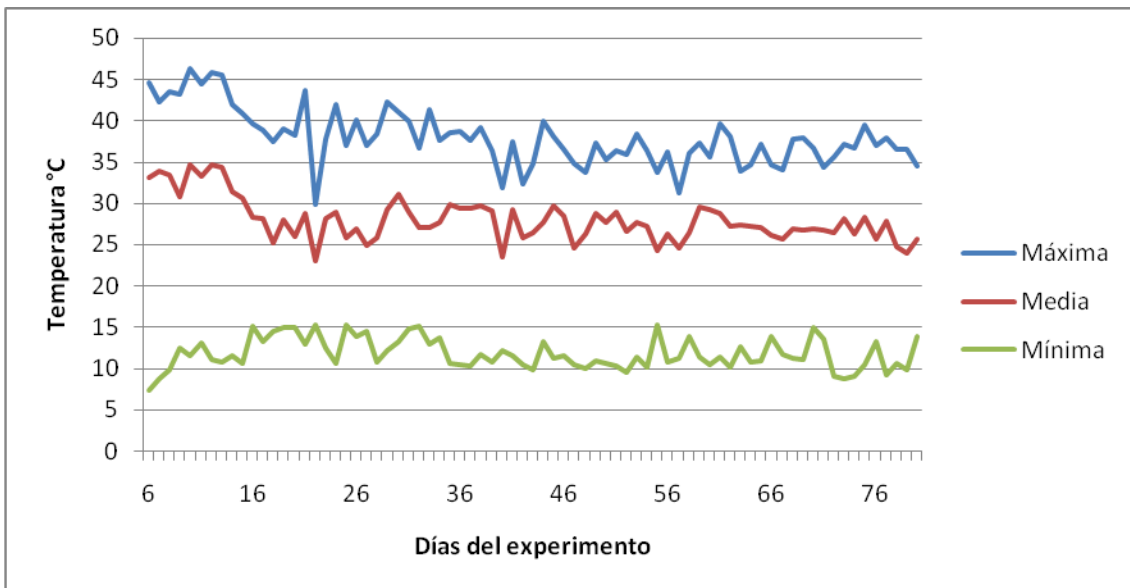
- Lira, Ricardo H. 2007. Fisiología vegetal. 2 ed. México. Trillas. 237 p.
- Matallana, A., Montero, JI. 2001. Invernaderos: diseño, construcción y climatización. 2 ed. Bilbao, ES. Mundi-Prensa. 209 p.
- McCarter, S.M., Jaworski, C.A., Johnson, A.W. 1976. Soil fumigation effects on early blight of tomato transplants. *Phytopathology*. 66: 1122-1124.
- Mendoza, C. 1996. Enfermedades fungosas de hortalizas. Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Chapingo. MX. 85 p.
- Maroto, J.V. 2008. Elementos de Horticultura general. 3 ed. Mundi-Prensa. 481 p.
- Nelson, P. 1991. Greenhouse operation and management. 4 ed. New Jersey, US. Simon & Schuster. 612 p.
- Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. España. Mundi-Prensa. 793 p.
- Ortiz, C.A. 1984. Elementos de Agrometeorología cuantitativa. Departamento de Suelos. UACH. MX. 232 p.
- Reche, J. 1991. Enfermedades de hortalizas en invernadero. Servicio de extensión agraria. Madrid, ES. 189 p.
- Regalado, C. 2002. Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Tesis M.Sc. Chapingo, MX. UACH. 161 p.
- Resh, H. 1992. Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 3 ed. C. Jaren, E. García. Trad. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 369 p.
- Robledo de Pedro, F., Martín, L. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. 2 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 573 p.
- Rodríguez, R., Tabares, JM., Medina, JA. 1989. Cultivo moderno del tomate. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 206 p.
- Sánchez, F. 2009. Diseño agronómico de invernaderos. Notas del 2 Curso de Especialización en Horticultura Protegida. Módulo II. Memoria. Universidad Autónoma Chapingo. MX.
- Sánchez, F., Escalante, E.R. 1988. Hidroponía. 3 ed. Chapingo, MX. Universidad Autónoma Chapingo. 194 p.
- Samperio, G. 1999. Hidroponía básica. México D.F. Diana. 153 p.
- Santos, V. 2006. Estimación del área foliar de la biomasa en jitomate a partir de mediciones no destructivas. Tesis Profesional. México. UACH. 85 p.

- Sanz, J., Uribarri, A., Sodaba, S., Aguado, G., del Castillo, J.. 2003. Guía de cultivo de: Tomate-suelo en invernadero (en línea). Navarra Agraria. Marz.-Abril: 56-60. Consultado 28 set de 2008. Disponible en <http://www.navarraagraria.com/n136/hidropo.pdf>
- _____. Hidroponía en Navarra (en línea). Navarra Agraria. Ene-feb.2003: 37-48. Consultado el 28 set 2008. Disponible en <http://www.navarraagraria.com/n136/hidropo.pdf>
- Salisbury, Frank B., Ross, Cleon W. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. V González. Iberoamérica. D.F. México. 759 p.
- Serrano, Z. 2005. Construcción de invernaderos. Mundi-Prensa. ES. 504 p.
- Smith, I.M., Dunez, J., Lelliott, R.A., Phillips, D.H., Archer, S.A. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Mundi-Prensa. ES. 671 p.
- Urrestarazu, M. 2000. Manual del cultivo sin suelo. 2 ed. Mundi-Prensa. 648 p.
- Van Haeff. 1990. Tomate. 2ª ed. México: Trillas. (reimp. 2006). 54 p.
- Williams, G.C. 1973. U.K. Tomato Manual. Grower Books. London UK. 228 p.

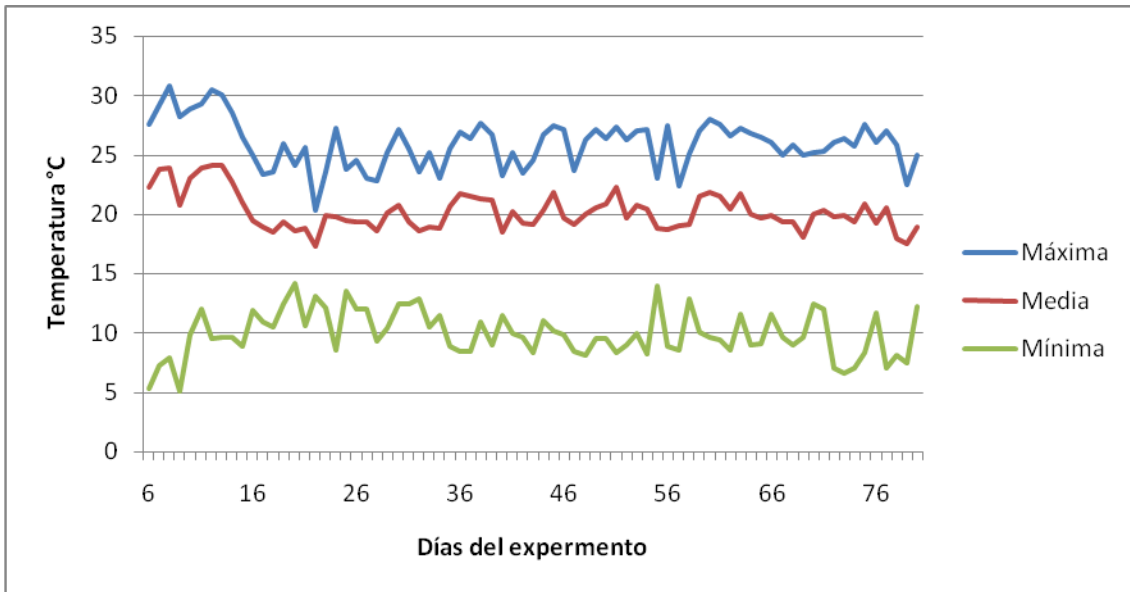
8. ANEXOS



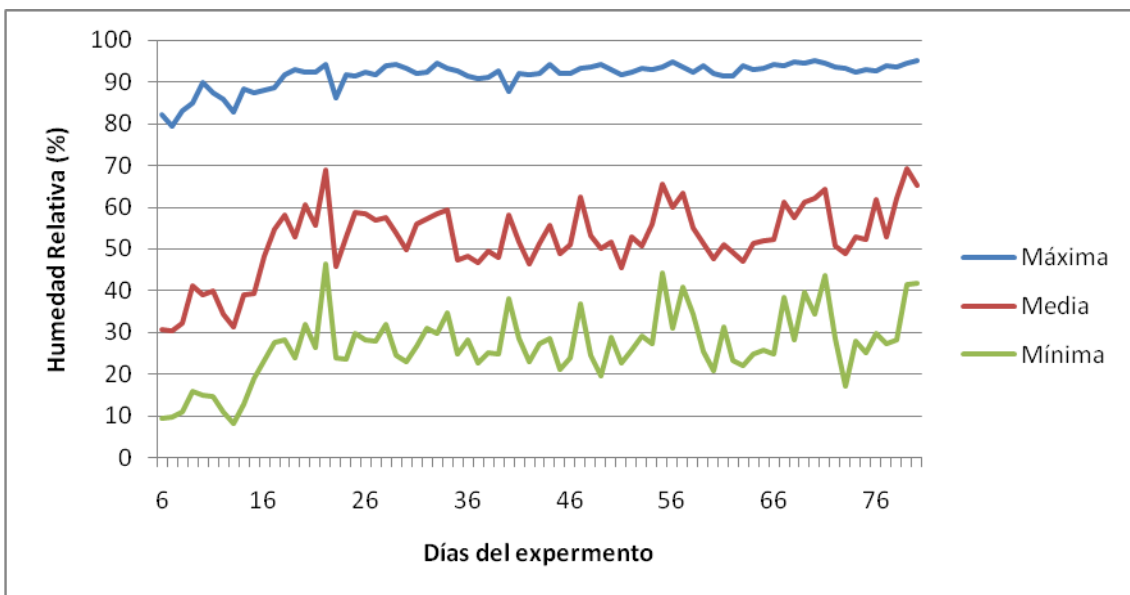
Anexo 1. Temperaturas para el tratamiento con plástico blanco ocurridas en el periodo de evaluación.



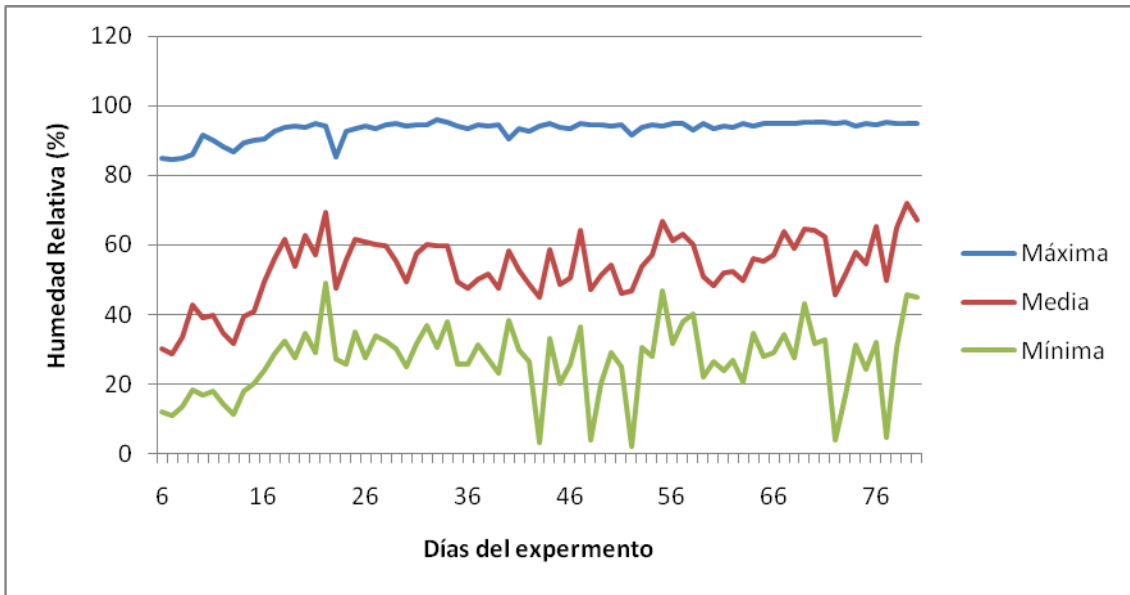
Anexo 2. Temperaturas para el tratamiento con plástico amarillo ocurridas en el periodo de evaluación.



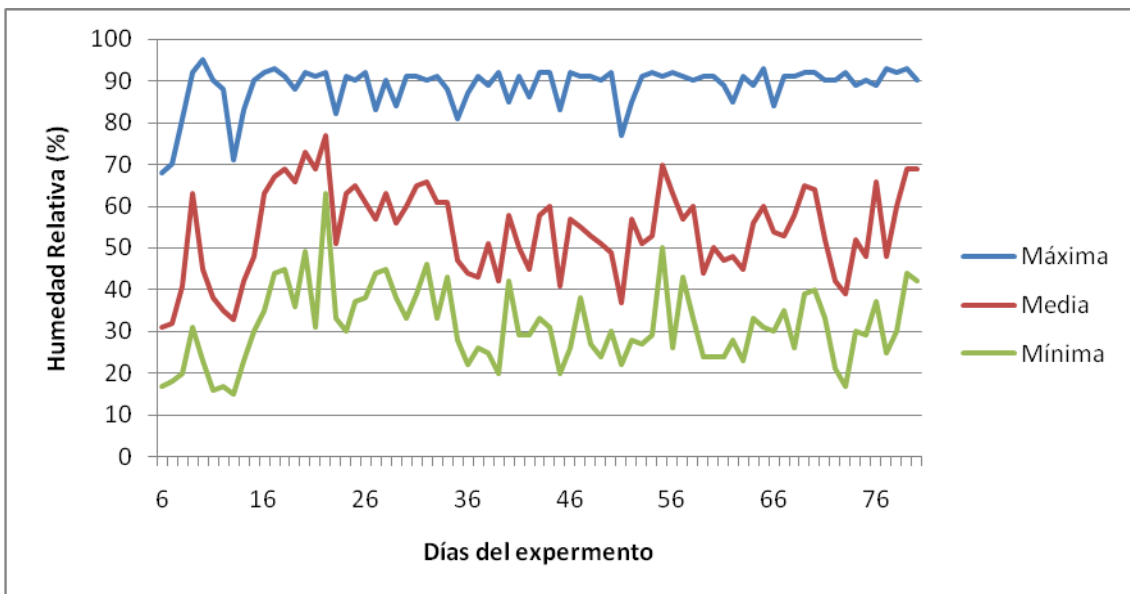
Anexo 3. Temperaturas para el ambiente externo ocurridas en el periodo de evaluación.



Anexo 4. Humedad relativa para el tratamiento con plástico blanco ocurridas durante el periodo de evaluación.



Anexo 5. Humedad relativa para el tratamiento con plástico verde ocurridas durante el periodo de evaluación.



Anexo 6. Humedad relativa para el ambiente externo ocurridas durante el periodo de evaluación.

Anexo 7. Integral térmica diaria para los tratamientos plástico blanco (T2), plástico amarillo (T3) y el exterior.

DE	T2	T3	Ext	DE	T2	T3	Ext	DE	T2	T3	Ext
6	15,0	13,7	13,8	31	17,6	17,4	14,0	56	15,4	15,4	13,7
7	15,0	14,3	14,6	32	17,8	17,6	13,2	57	15,6	15,6	11,2
8	15,4	14,9	15,4	33	16,6	16,5	12,9	58	17,1	16,9	14,0
9	16,5	16,2	14,1	34	17,0	16,9	12,3	59	15,6	15,7	13,6
10	16,2	15,8	14,5	35	15,3	15,3	12,8	60	15,5	15,2	14,0
11	16,9	16,5	15,7	36	15,4	15,2	13,5	61	15,5	15,7	13,8
12	15,9	15,5	15,3	37	15,4	15,1	13,2	62	15,3	15,1	13,3
13	15,7	15,4	15,0	38	16,1	15,9	14,3	63	16,4	16,3	14,4
14	15,9	15,7	14,3	39	15,4	15,4	13,4	64	15,1	15,3	13,4
15	15,7	15,3	13,3	40	16,4	16,0	12,4	65	15,5	15,5	13,3
16	17,5	17,6	13,5	41	15,9	15,7	12,6	66	17,1	17,0	13,8
17	17,0	16,6	12,2	42	15,4	15,2	11,7	67	15,8	15,9	12,5
18	17,4	17,2	12,1	43	15,2	15,0	12,3	68	15,6	15,6	12,9
19	17,7	17,5	14,2	44	16,7	16,6	13,9	69	15,5	15,5	12,5
20	17,9	17,5	14,2	45	15,6	15,6	13,8	70	17,6	17,5	13,9
21	16,8	16,5	13,1	46	16,0	15,8	13,6	71	17,0	16,8	13,7
22	18,0	17,5	11,7	47	15,5	15,2	11,9	72	15,0	15,0	13,0
23	16,1	16,2	12,9	48	15,1	15,0	13,2	73	15,0	15,0	13,2
24	15,5	15,3	13,6	49	15,6	15,5	13,6	74	15,0	15,0	12,9
25	17,8	17,6	13,7	50	15,4	15,3	13,2	75	15,1	15,0	13,8
26	17,0	17,0	13,3	51	15,1	15,1	13,7	76	16,7	16,7	13,9
27	17,4	17,3	12,5	52	15,0	15,0	13,1	77	15,0	15,0	13,5
28	15,3	15,4	11,4	53	15,8	15,7	13,5	78	15,3	15,3	12,9
29	16,1	16,0	12,8	54	15,1	15,1	13,6	79	15,0	15,0	11,3
30	16,6	16,7	14,8	55	17,8	17,6	13,5	80	17,0	17,0	13,6

DE: Días del experimento. **T2:** plástico blanco, **T3:** plástico amarillo, **Ext:** exterior



Ciba® TINUVIN® 494

Synergistic Mixture of a High Molecular Weight Hindered Amine Stabilizer and Coadditives

Characterization	TINUVIN 494 is a proprietary mixture of a monomeric, high molecular weight stabilizer Ciba CHIMASSORB® 119 FL and coadditives. It is an excellent UV stabilizer with outstanding pesticide/insecticide resistance. TINUVIN 494 is particularly well suited for agricultural film applications, whenever crop protection chemicals can be a threat for the film duration.		
Chemical name	1,3,5-Triazine-2,4,6-triamine, N,N''-[1,2-ethane-diy-bis [[4,6-bis-[butyl (1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidiny)amino]-1,3,5-triazine-2-yl) imino]-3,1-propanediy]] bis [N',N''- dibutyl-N',N''-bis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidiny)- and a proprietary mixture of coadditives		
CAS number	Preparation		
Structure	CHIMASSORB 119	$\text{RNH}-(\text{CH}_2)_3-\text{NR}-(\text{CH}_2)_2-\text{NR}-(\text{CH}_2)_3-\text{NHR}$ <p>whereby R =</p>	
Molecular weight	2286		
Applications	TINUVIN 494 areas of application include polyolefins (PP, PE) as well as olefin copolymers such as EVA and EBA.		
Features/benefits	TINUVIN 494 is designed to provide long-term stabilization to agricultural films, in countries with high solar irradiation, even in the presence of high concentrations of chemicals such as pesticides, insecticides or soil disinfection agents. It shows also outstanding performance also as long-term antioxidant; this behavior is especially useful where films are in contact with frames (wood, iron, aluminum).		
Product Form	<i>Code:</i>	TINUVIN 494 FB	TINUVIN 494 AR
	<i>Appearance:</i>	White to slightly yellow free flowing beads	White to slightly yellowish pellets attrition resistant
Guidelines for use	Films	UV stabilization of greenhouse films	1.0-2.5%
Physical Properties	Bulk density	500-650 g/l	

Handling & Safety	In accordance with good industrial practice, handle with care and avoid unnecessary personal contact. Avoid continuous or repetitive breathing of dust. Use only with adequate ventilation. Protect skin. Prevent contamination of the environment. Avoid dust formation and ignition sources.
Registration	For more detailed information please refer to the material safety data sheet. The single components of TINUVIN 494 are listed on the following inventories:
	Australia: AICS
	Canada: DSL
	China: Draft Inventory
	Europe: to import, agreement is required from Ciba Specialty Chemicals
	Japan: ENCS
	Korea: ECL
	Philippines: PICCS
	USA: TSCA

IMPORTANT: The following supersedes Buyer's documents.
SELLER MAKES NO REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
No statements herein are to be construed as inducements to infringe any relevant patent. Under no circumstances shall Seller be liable for incidental, consequential or indirect damages for alleged negligence, breach of warranty, strict liability, tort or contract arising in connection with the product(s). Buyer's sole remedy and Seller's sole liability for any claims shall be Buyer's purchase price. Data and results are based on controlled or lab work and must be confirmed by Buyer by testing for its intended conditions of use. The product(s) has not been tested for, and is therefore not recommended for, uses for which prolonged contact with mucous membranes, abraded skin, or blood is intended; or for uses for which implantation within the human body is intended.

Anexo 8.Ficha técnica del plástico blanco (T2)



Ciba® SMARTLIGHT® RL 1000

Photoselective Additive for Agricultural Plastics

Characterization	SMARTLIGHT® RL 1000 is a proprietary photoselective additive for agricultural plastics. SMARTLIGHT RL 1000 shifts part of the UV into visible light used by crops for photosynthesis in agricultural applications, such as greenhouse films and shading nets.		
Applications	SMARTLIGHT RL 1000 areas of applications include polyolefins (PP, PE) as well as olefin copolymers, such as EVA and EBA.		
Features/benefits	<p>SMARTLIGHT RL 1000 is designed to provide photoselectivity to functionalized agricultural films. It can improve the productivity and quality of flowers such as roses, carnation and anthurium. Higher yields and shorter growing cycles are especially useful to target festivities like Mother's Day or Valentine.</p> <p>Please note that the type and extent of the crop growth benefit depends on a variety of conditions. For this reason specific field trials are required before the full product commercialization.</p>		
Product forms	<i>Code:</i>	SMARTLIGHT RL 1000	
	<i>Appearance:</i>	Reddish powder	
Guidelines for use	Films	photoselective greenhouse film	0.5-2.0%
	Nets	photoselective shading nets	0.5-2.0%
	<p>Combination with light stabilisers (e.g. TINUVIN NOR 371 for improved protection of the agricultural plastic against burned Sulphur in roses cultivation) , UV absorbers (e.g. TINUVIN 326, TINUVIN 327, TINUVIN 328, CHIMASSORB 81 or TINUVIN 1577 also against petal blackening) or anti-fogging agents (e.g. Atmer 400 to improve light transmission and prevent burning of the crop) are possible.</p> <p>To be noted: some crop varieties may require UV light to develop color or other specific features. In this case the use of SMARTLIGHT RL 1000, which absorbs in the UV region of the spectrum, could be detrimental to the development of these features.</p>		
Physical Properties	<i>Melting point</i>	>250 °C decomposition	
	<i>Specific Gravity (20 °C).</i>	500-800 g/l	
	Solubility (roomtemperature)	% w/w	
	<i>Water</i>	<0.01 %	
	<i>Methanol</i>	Slightly soluble	
	<i>Ethanol</i>	Slightly soluble	
	<i>Toluene</i>	Not soluble	
	<i>Hexene</i>	Not soluble	
	Volatility	Pure substance; TGA heating rate 10 °C/min, in air	
	<i>Weight loss (%)</i>	<i>Temperature °C</i>	
	250	<0.01 %	
Storage	SMARTLIGHT RL 1000 has a definite shelf-life of 36 months. Please keep SMARTLIGHT RL 1000 in its original packaging and away from sunlight.		

Handling & Safety	SMARTLIGHT RL 1000 requires no special safety measures, provided usual precautions for handling of chemicals are observed. For more detailed information please refer to the material safety data sheet.								
Registration	<p>SMARTLIGHT RL 1000 is listed on</p> <table> <tr> <td>China:</td> <td>IECSC</td> </tr> <tr> <td>Europe</td> <td>EINECS</td> </tr> <tr> <td>Japan</td> <td>notified</td> </tr> <tr> <td>USA</td> <td>TSCA</td> </tr> </table> <p>To obtain further regulatory information please contact your local sales office.</p>	China:	IECSC	Europe	EINECS	Japan	notified	USA	TSCA
China:	IECSC								
Europe	EINECS								
Japan	notified								
USA	TSCA								

IMPORTANT: The following supersedes Buyer's documents.
SELLER MAKES NO REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
No statements herein are to be construed as inducements to infringe any relevant patent. Under no circumstances shall Seller be liable for incidental, consequential or indirect damages for alleged negligence, breach of warranty, strict liability, tort or contract arising in connection with the product(s). Buyer's sole remedy and Seller's sole liability for any claims shall be Buyer's purchase price. Data and results are based on controlled or lab work and must be confirmed by Buyer by testing for its intended conditions of use. The product(s) has not been tested for, and is therefore not recommended for, uses for which prolonged contact with mucous membranes, abraded skin, or blood is intended; or for uses for which implantation within the human body is intended.

Anexo 9.Ficha técnica del plástico amarillo (T3)