

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Agroplasticultura Mediante el Uso de Mallas de Colores y los Principales Factores que Afectan Sobre la Calidad, Rendimiento y Producción de Tomate Tipo Bola Variedad "Horus". (Lycopersicon esculentum Mill)

Por:

ROBERTO PAREDES PÉREZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Agroplasticultura Mediante el Uso de Mallas de Colores y los Principales Factores
que Afectan Sobre la Calidad, Rendimiento y Producción de Tomate Tipo Bola
Variedad "Horus". (*Lycopersicon esculentum Mill*)

Por:


ROBERTO PAREDES PÉREZ


MONOGRAFÍA


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Silvia Giromi García Mendoza
Asesor Principal


Ing. Bruno García Mendoza
Coasesor


M.C. Laura María González Méndez
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

A mis Padres, por otorgarme el apoyo económico con lo cual me permitió la realización de una Ingeniería y durante el desarrollo de esta Monografía.

A mi asesor M.C Silvia Giromi García Mendoza, por su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos, por sus consejos personales y por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo de investigación.

A mis profesores, por sus enseñanzas profesionales para la realización de este trabajo.

Al Lic. Armando Rodríguez Pérez, por creer en mí y darme su amistad, apoyarme en todo momento.

A María Yolanda Sánchez, por su fortaleza y por su entereza, por darme ánimo y por ser una amiga en todo momento.

A Fco. Javier Salazar Sandoval (EL NEGRO), por enseñarme el valor de la amistad, la humildad, por darme su consejo de amigo, por poner la palabra exacta en el momento exacto, por no dejarme caer y olvidarme de dónde vengo, maestro de música y de vida, por darme su fortaleza y sabiduría de los años y ayudarme alcanzar mi sueños, por creer en mí.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron acompañándome y ayudando en el desarrollo de este trabajo, y a todas aquellas personas que de una u otra forma intervinieron para poder llevar a cabo este trabajo monográfico, gracias.

DEDICATORIAS

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

A mis Padres, a quien les debo lo que ahora soy y porque sin ellos jamás hubiera llegado hasta donde ahora estoy, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor, por continuar apoyándome día con día en las decisiones que tomo y por caminar a mi lado en los buenos y malos momentos y por lo más grande que me han dado, “la vida”.

A mis hijas, que a pesar de las dificultades el tiempo y todos los momentos que no reviviré me dieron su apoyo y por ser mí motivo de inspiración para seguir superándome día con día. A Mayte y Valentina que siempre están presentes en cada una de mis decisiones y acciones por enseñarme a ser Padre y otorgarme la dicha de serlo, por darme la alegría de vivir y que a pesar de tantas adversidades me han motivado para seguir preparándome y ser una mejor persona LAS AMO...

A mis amigos, que nunca me han dejado solo que siempre han estado ahí, brindándome su apoyo y buenos consejos

A La Rondalla de Saltillo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser el faro que me inspiró a seguir adelante, que me dio fortaleza para no rendirme, me enseñó a abrirme paso a pesar de las dificultades y me dejó cumplir mis sueños.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE CUADROS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESÚMEN	5
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL.....	10
ANTECEDENTES.....	11
I.- IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA PROTEGIDA.....	14
II. AGROPLASTICULTURA.....	15
II.1 MODIFICACIÓN DEL MICROCLIMA BAJO MALLA SOMBRA.....	16
II. 2 MALLA SOMBRA.....	16
II.3 VENTAJAS DE LA MALLA SOMBRA.....	18
III.EL USO DE LAS MALLAS SOMBRA.....	20
III.1 IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN PAR EN LAS PLANTAS.....	20
III.2. PROCESOS FISIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS INFLUENCIADOS POR LA LUZ.....	21
III.3 EFECTO DE LA MALLA SOMBRA EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS.....	22
III.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE TOMATE.....	23
III.5 FACTORES DE PRECOSECHA EN LA CALIDAD DEL FRUTO DEL TOMATE.....	27
III.6 FACTORES INTRINSECOS.....	27
III.7 FACTORES EXTRINSECOS.....	28
III.8 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	30
III.9 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	30

III.10 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DE TOMATE	31
III.11 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.....	32
III.12.1 TEMPERATURA.....	33
III.12.2 HUMEDAD RELATIVA	36
III.12.3 FOTOSÍNTESIS.....	36
VI. DESARROLLO DEL CULTIVO.....	37
VI.1 ÁREA FOLIAR Y BIOMASA	38
VI.2 FOTOSÍNTESIS	39
VI.3 COSECHA.....	40
VI.4 RENDIMIENTO Y CALIDAD.....	40
VII JUSTIFICACIÓN.....	42
VIII. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DIFERENTES INVESTIGACIONES.....	43
VIII.1 RENDIMIENTO.....	43
VIII.1.1 NÚMERO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA.....	43
VIII.2 PESO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA	45
VIII.3 CALIDAD DE FRUTO.....	47
VIII.4 FIRMEZA.....	48
VIII.5 GRADOS BRUX	49
IX. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE ACUERDO A LOS EXPERIMENTOS PRESENTADOS SEGÚN LOS AUTORES.....	50
X. CONCLUSIÓN.....	51
XI. LITERATURA CITADA	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. - Clasificación Taxonómica.....	30
Cuadro 2. - Frecuencia en que se realizaron las mediciones e instrumentos utilizados.....	37
Cuadro 3. - Parámetros de medición, instrumentos y frecuencia.....	39
Cuadro 4. - Instrumento y frecuencia con la que se tomó fotosíntesis.....	40
Cuadro 5. - Instrumentos que se utilizaron en toma de datos para calidad de tomate.....	42
Cuadro 6. - Número de frutos por planta de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).....	44
Cuadro 7. - Peso total de frutos por planta de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$	46
Cuadro 8. - Número de frutos cosechados por categoría comercial referente a la calidad de frutos cosechados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).....	47
Cuadro 9. -Resultados de la medición de la firmeza en el fruto encontrados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).....	49
Cuadro 10. -Resultados de la medición de grados brix en el fruto encontrados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición media de la materia seca del fruto de tomate	24
Figura 2.- Método destructivo (separación de la planta de tomate para la evaluación de su crecimiento.....	28
Figura 3.- Estufa de secado en que se metieron las hojas durante 72 horas a 70° C.....	38
Figura 4.- Toma de fotosíntesis infrarrojo, IRGA LI-6400 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU.....	39
Figura 5 .- Cosecha del producto obtenido a partir de los 5 tratamientos a evaluar	40
Figura 6.- Vernier Electrónico.....	41
Figura 7.- Penetrómetro manual FT Fruit Tester, Greenwich, Connecticut, EE. UU.....	41
Figura 8.- Báscula Electrónica.....	41
Figura 9.- Número de frutos cosechados, de un cultivo de tomate tipo bola, bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	45
Figura 10.- Resultados encontrados para la variable calidad de frutos cosechados por categoría comercial, de un cultivo de tomate tipo bola, bajo diferentes colores de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).....	48

RESÚMEN

La presente monografía ofrece información reciente y tangible sobre la utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termo reflectoras, es una técnica para controlar el microclima en agroplasticultura, con lo cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para así, evitar las altas temperaturas durante los períodos cálidos y con fotoperiodos largos; ya que es posible manipular los niveles de intensidad de radiación por medio de los porcentajes de sombreo inherentes a cada tipo de malla.

La calidad interna y externa de los frutos presentan una gran variabilidad dependiendo de la interacción de numerosos factores, tales como: la genética misma de la variedad, los factores ambientales y las prácticas de cultivo. De estos factores, los ambientales presentan la ventaja de que pueden ser controlados mediante el cultivo bajo ambientes protegidos. De entre los ambientes protegidos utilizados para el cultivo de tomate, se pueden destacar las mallas sombras, ya que es posible manipular los niveles radiactivos por medio de los porcentajes de sombreo inherentes a cada tipo de malla. En el presente trabajo se busca dar a conocer la importancia de los diferentes porcentajes de sombreo (radiación fotosintéticamente activa) de tres malla sombra (gris, cristal y negra) y su influencia en la temperatura que es uno de los principales factores que afecta la productividad de desarrollo del cultivo al ser este sensible a los cambios de la misma, sobre la calidad, rendimiento y producción del fruto de tomate tipo bola variedad "Horus".

Las Investigaciones realizadas indicaron que las tres malla sombra redujeron la radiación y modificaron la temperatura al interior de los túneles; modificando de esta forma el microclima y por consiguiente los parámetros de calidad del fruto de los tomates evaluados. Se evidenció que tanto la cantidad como la calidad lumínica son factores determinantes para obtener altas concentraciones de licopeno. El sistema de producción de tomate bajo malla sombra debe de ser adecuado a las condiciones climáticas del lugar antes de que la tecnología puede ser adoptada por los productores, siendo este estudio un paso hacia esa dirección.

Se espera que el empleo de este tipo de mallas logre evadir las bajas temperaturas, permitiendo de esta forma incrementar la producción y calidad de los frutos sin incrementar la superficie sembrada, promover la cosecha temprana, lo que significará poder competir con otros productores al salir antes al mercado debido a la precocidad de la producción consiguiendo un mejor precio de venta; se reducirá con ello la importación del tomate y se generarán más empleos.

Palabras Clave: Porcentaje de Sombreo; Radiación Fotosintética; Microclima; Licopeno; Índice de Sabor, Porcentaje de Sombreo; Radiación Fotosintética; Microclima; Rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es un cultivo de gran importancia comercial en todo el mundo (Maršić *et al.*, 2005); en México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en exportación, siendo EUA el principal importador (SAGARPA, 2009). El tomate es una de las hortalizas más consumidas, el consumo per cápita de tomate fresco en el mercado mundial, tiene una tendencia creciente, mientras que el consumo de tomate procesado se ha mantenido estable en los últimos treinta años (SAGARPA, 2009). Es un fruto que posee una notable riqueza de vitaminas, antioxidantes, minerales y fibra. Dada su alta demanda, hoy en día los frutos de tomate se mandan al mercado perfectamente clasificados por tamaño, color, incluso envasados. Además, se han adaptado técnicas de producción y comercialización de tal forma que satisfagan la creciente demanda, llegando al punto en el que se ha dejado en segundo término la calidad nutritiva o interna ante el aspecto externo y la cantidad (Escobar, 2012).

El mercado hortícola ha evolucionado en los últimos años, debido a que el consumidor demanda mayor calidad organoléptica y nutracéutica de los productos poscosecha, dispuesto a pagar más por dichos productos. Por lo que, existe una demanda social por alimentos que aporten mayor contenido en elementos nutritivos, porque se está convencido de que se puede mejorar el nivel de vida y de salud a través de la alimentación, y porque se podría paliar así los déficits nutricionales.

La calidad interna y externa de los frutos presentan una gran variabilidad dependiendo de la interacción de numerosos factores, tales como: la genética misma de la variedad, los factores ambientales y las prácticas de cultivo. De estos factores, los ambientales presentan la ventaja de que pueden ser controlados mediante el cultivo bajo ambientes protegidos (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2014). De entre los ambientes protegidos utilizados para el cultivo de tomate, se pueden destacar las mallas sombras, ya que es una técnica de control de la temperatura y la radiación y que representa una alternativa más económica que un invernadero, permitiendo producir plantas más vigorosas con frutos de alta calidad y rendimientos mayores que en campo abierto (Gomez *et al.*, 2001).

De acuerdo a Erhioui *et al.*, (2002) la radiación solar (o intensidad luminosa) y la temperatura afectan la calidad del fruto del tomate tal como la textura, firmeza, apariencia y los compuestos oxidantes y antioxidantes (Alba *et al.*, 2000). Según Kader, (1984), probablemente la radiación solar y más aún la calidad lumínica, sea el parámetro ambiental que más influya en el sabor. Concretamente el contenido en azúcares se encuentra altamente correlacionados con la radiación recibida, aumentando cuando la radiación es mayor (primavera-verano) y disminuyendo cuando es menor (otoño-invierno). Por otra parte se ha reportado que al aumentar la exposición de los frutos a la radiación fotosintética se obtuvo un incremento en el contenido de licopeno y β -caroteno (Gautier *et al.*, 2005). Sin embargo, resulta importante disminuir las temperaturas altas y mantener la humedad relativa adecuada para la producción, ya que aunque la influencia de la humedad relativa en la calidad gustativa del fruto ha sido poco estudiada, parece que en condiciones de baja humedad relativa se acumula más materia seca en el fruto, lo que redundaría en un mayor contenido en azúcares y en ácidos y en frutos con mayor sabor, pero a su vez los azúcares se acumulan en mayor proporción que los ácidos, dando lugar a una relación azúcares/acidez más elevada y a frutos más dulces (Bertin *et al.*, 2000).

Por lo anteriormente mencionado, se puede decir que el cultivo de tomate bajo condiciones de casa sombra donde se utilice el desarrollo de nuevas tecnologías de mallas, por un lado, ayuda en la disminución de desórdenes fisiológicos, y por otro, fomenta las respuestas fisiológicas relacionadas al tamaño, peso, color, amarre y tiempo de cosecha (Shahak *et al.*, 2008). resultando así adecuada para proteger a la planta de una fuerte radiación solar directa, reduciendo con ello el estrés térmico, además de que con un grado de luminosidad adecuado se puede obtener como resultado una planta más vigorosa con frutos de alta calidad y mayor aceptación al consumidor (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011). En base a lo anterior y a pesar de que se ha demostrado el potencial de las nuevas tecnologías de las mallas para mejorar la calidad de frutos de tomate así como la productividad y periodo de cosecha, se requiere aún de una mayor investigación para su implementación en diferentes variedades o cultivos y condiciones medioambientales, de ahí el objetivo de este trabajo.

La utilización de mallas plásticas para sombrear o como pantallas termorefllectoras es

una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en Agroplasticultura con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar las altas temperaturas durante los períodos cálidos (Valera *et al.*, 2001), o para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001). Las mallas utilizadas con dichos fines son negras y aluminadas, respectivamente. Las primeras se usan más que las segundas porque cuestan menos, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro electromagnético causando disminución de la fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera *et al.*, 2001). Éstas las aluminadas son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, intensifica su dispersión (luz difusa), y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004). De acuerdo con Shahak (2008), la nueva tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz tales como la fotosíntesis que transforma la energía solar en energía química utilizando luz de longitudes de onda entre 400 y 700 no conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila, y muchos otros metabolitos secundarios. Al ser posible manipular las respuestas adaptativas de los vegetales modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, la industria hortícola y la Agroplasticultura han puesto énfasis en el estudio de la radiación (Samaniego *et al.*, 2002).

En la actualidad pocas ciudades como Ramos Arizpe, Parras de la Fuente y Arteaga son productores de tomate en Coahuila, con rendimientos que no superan las 42 Ton ha⁻¹, esta baja producción se debe a problemas causados por las bajas temperaturas y heladas, propios de la época otoño- invierno, generando una escases y elevación de precios en dicha hortaliza según datos del (SIAP, 2015); por tal motivo una solución para extender los periodos de cosecha e incrementar los rendimientos y calidad del cultivo de tomate en estas regiones, lo representa el uso de mallas.

II. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un documento que contenga información para profesionales, estudiantes, pequeños productores y público en general sobre la utilización de las mallas sombras de diferentes colores para el rendimiento y calidad del cultivo de tomate variedad “HORUS”.

III.ANTECEDENTES

El uso de las mallas sombra en la producción agrícola se basa principalmente en la necesidad de una mayor área de ventilación, lo que derivó en la sustitución de la cubierta plástica por una cubierta porosa. Esto supone una mayor área de intercambio de aire, y con ello, la reducción de tres de los gradientes de temperatura, y un nivel conveniente de dióxido de carbono (Anaya, 1993).

La casa sombra es una estructura metálica construida a base de tubo redondo galvanizado, anclajes a base de varilla de hierro corrugado, trenzas y cordones de hierro, así como alambre para sujetar la malla anti-insectos. La malla es confeccionada con monofilamento transcarnado y tratado con aditivo contra rayos ultravioleta. La estructura permite protección a los cultivos durante condiciones de estrés. Estas condiciones de estrés ocasionan disminuciones en el rendimiento. Sin embargo, el sombreado permite que las plantas crezcan en mejores condiciones, mejorando así la calidad y rendimiento de los cultivos. Las mallas ofrecen protección contra insectos, viento, arena, granizo y heladas de baja intensidad, aumentando la probabilidad de mayores rendimientos y mejor calidad de frutos. Las mallas de 10x20 (50 mesh) presentan aberturas tan pequeñas que impiden el paso de los insectos; están tratadas contra rayos ultravioleta, propician temperaturas más bajas, porcentaje de sombreado constante (Matallana y Montero, 2001).

La productividad del tomate depende en gran parte del nivel tecnológico del invernadero y de las prácticas de manejo y dentro de estas la elección de la variedad es primordial. La variedad a escoger debe adaptarse al tipo de infraestructura, que sea del tipo de tomate que demande el mercado, productiva y buena calidad del fruto, resistente a desórdenes fisiológicos y frutos con buen comportamiento en poscosecha (Berenguer, 2003).

Se ha encontrado que una de las variedades que se comporta mejor es el tomate (*solanum lycopersicum*) var. Horus, cultivo apto tanto en invernadero como al aire libre. Planta indeterminada con pisos florales a corta distancia uno a otro, pisos florales

homogéneos, tomate de color rojo luciente, peso 140 gr. Planta vigorosa, equilibrada de alta producción con buen follaje cubriente y buen cuajado. Puede ser cosechado “rojo” en racimos aún con su hombro verde. Excelente tomate de larga vida. Prácticamente sin frutos de segunda calidad. Para mercado fresco. (Sativa 2005).

La tecnología de producción de jitomate en ambiente controlado abre amplios horizontes para la economía de los horticultores. Dentro de las ventajas que ofrece el uso de malla sombra se tienen las siguientes: disminución de hasta el 25% del agua requerida para el cultivo, reducción de la contaminación, menor tiempo a inicio de cosecha, rendimientos que superan hasta en 300% más a los que se obtienen en condiciones de campo abierto y finalmente la obtención de alta calidad de las cosechas (Cook, 2007).

Las mallas de hilo negro han sido las cubiertas más empleadas para estructuras de sombreo. Sin embargo, el uso de hilos transparentes y coloreados se está incrementando debido a la modificación de la radiación solar inducida por el color de la malla. En los últimos años algunos investigadores han empleado la malla para la modificación específica de la luz del sol mediante el color de la misma, para mejorar el microclima y proporcionar la protección física deseada. Algunos colores provocan una diferenciación espectral en la radiación solar incidente. De hecho, la malla puede modificar los rangos del espectro visible y/o UV o IR, para producir una respuesta fisiológica del cultivo.

Entre los aspectos relevantes en la fabricación de las mallas, están el uso de los aditivos que filtran la radiación para fabricar mallas con propiedades especiales. La literatura menciona algunos de los últimos estudios realizados en mallas: Las mallas foto selectiva que están basadas en varios aditivos cromáticos, dispersores de luz y elementos refractivos dentro de los materiales del mallado. Estos materiales seleccionan varios componentes espectrales de la radiación solar como son la radiación UV y PAR y/o transforman la luz directa en luz difusa. La manipulación espectral se encuentra dirigida específicamente a promover respuestas fisiológicas deseadas. Este efecto foto selectivo fue probado en casa sombra, encontrando que las mallas rojas y perlas incrementaron, repetidamente, la productividad de los cultivos de hoja, pimientos y ornamentales, comparados cada uno con una cubierta estándar (Shahak *et al.*, 2008).

La protección con malla sombra se requiere en las regiones semiáridas para producir una alta calidad del fruto, evitando quemaduras de sol y ahorrando agua. En estudios realizados en Israel, compararon la malla sombra negra tradicional contra las mallas rojas, azules, amarillas y perlas, para determinar su efecto en la productividad y calidad del fruto. Los resultados mostraron un incremento significativo en la productividad bajo las mallas foto selectivas, resaltando que el número de frutos producidos por planta en toda la temporada de cultivo fue 30 a 40% superior y el rendimiento fue de 20 a 30% superior bajo las mallas foto selectivas (Shahak, 2008).

Se han estudiado las propiedades de transmisión de la radiación PAR en varios tipos de mallas foto selectivas y se ha encontrado que la malla de color blanco transmitió una radiación PAR de $1020 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la malla gris de $639.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación PAR, representando una disminución del 37% en la radiación PAR (Bastias *et al.*, 2012).

En otras investigaciones en donde se han estudiado las mallas foto selectivas de color rojo y verde y como testigos la color perla y negra, todas ellas con un factor nominal del 50% de sombreo, reportan que la radiación PAR se redujo en un mayor porcentaje en la malla negra (55-60%) y el menor porcentaje en la malla roja (41 a 51%) y en las mallas azul y perla, la reducción fue intermedia entre las anteriores. La radiación UV-A y UV-B fueron reducidas mayormente en la malla de color perla y en menor magnitud en la malla de color rojo (Steven y col., 2013).

A pesar de que se ha demostrado el potencial de las nuevas tecnologías de las mallas foto selectiva, para mejorar la productividad, calidad y periodo de cosecha de cultivos hortícolas, se requiere de una mayor investigación para su implementación en diferentes cultivos y condiciones medioambientales.

I.IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Una forma de lograr la obtención de tomates con alta calidad en cuanto a parámetros nutricionales óptimos que demanda actualmente el mercado, es mediante la manipulación de los factores ambientales extrínsecos y la forma de lograr dicho control es con el empleo del método de producción de agricultura protegida.

Siendo la radiación y la temperatura uno de los factores más importantes que pueden modificar la calidad nutricional como contenido de licopeno, vitamina C, ácido cítrico y grados brix, además de propiedades externas del fruto como firmeza y color, así como el desarrollo de las plantas. La agricultura protegida, al permitir manipular estos factores ambientales, tiene un papel clave para minimizar los factores pre cosecha que afectan la calidad de los frutos y en especial los de tomate (Samaniego *et al.*, 2002). El empleo de cubiertas con diferentes bloqueos de la radiación par representa un nuevo concepto agrotecnológico que permiten combinar la protección del cultivo con los diferentes filtros de radiación solar para promover respuestas fisiológicas que son reguladas por la luz y la temperatura, ya que estas respuestas determinan el valor comercial del cultivo como: el rendimiento, la calidad del fruto y el grado de madurez (Márquez-Quiroz *et al.*, 2015).

Es por lo anterior que los diferentes tipos de cubiertas han revolucionado las técnicas de agricultura protegida y es común encontrarlas en forma de mallas sombras y películas plásticas aplicadas en, túneles, microtúneles e invernaderos. los nuevos desarrollos de cubiertas se han enfocado a la modificación de las propiedades ópticas basados en los efectos que causan los diferentes tipos de radiación en los cultivos (Lee *et al.*, 2000; Dansereau *et al.*, 1998), ya que tales modificaciones espectrales lumínicas modifica el desarrollo de la planta, en algunos casos para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola y en otros casos, puede ocurrir lo contrario (Rajapakse *et al.*, 2000), debido a que se ha demostrado que la intensidad de luz interceptada afecta la velocidad de crecimiento de la planta, al estar directamente relacionada con el proceso fotosintético (Cerny *et al.*, 1999) y por ello como ya se ha mencionado, influyen

directamente sobre la calidad de los frutos de tomate, de igual manera la temperatura tiene una influencia significativa sobre el crecimiento y desarrollo de frutos de tomate, debido a que puede reducir el período de crecimiento (Van Der Ploged y Heuvelink 2005).

II. AGROPLASTICULTURA

Las mejoras en la agroplasticultura están siendo cada vez más importantes en los últimos años. Las oportunidades de avance tecnológico en materiales plásticos para la cubierta de invernaderos pasan por el desarrollo y utilización de nuevas cubiertas que permitan una mayor productividad y un mejor control del clima del invernadero para poder obtener las cosechas en las épocas más ventajosas económicamente, precocidad, producción tardía, calidad, etc. Además, será necesario que los materiales de cubierta se adapten a los nuevos desarrollos que se están produciendo en estructuras (invernaderos con cubierta móvil) o en sistemas de cultivo (producción integrada) (Espí *et al.* 2010).

La agroplasticultura (AgPs) es un sistema de producción bajo diversas estructuras que se utilizan para generar las condiciones físicas óptimas para el desarrollo y protección de los cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a esta actividad. Los riesgos pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos productivos (agua o de superficie). Adicionalmente, se establece que la AgPs ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores (Reséndez *et al.*, 2011). Las estructuras que se utilizan en la AgPs además de los invernaderos, son la malla sombra (casa sombra), las cubiertas flotantes (mantas térmicas), los macro túneles y micro túneles. Estas estructuras de protección generalmente se acompañan de sistemas de riego localizado (fertirrigación), cultivo sin suelo (sustratos) o hidroponía (Juárez *et al.*, 2011)

II.1 MODIFICACIÓN DEL MICROCLIMA BAJO MALLA SOMBRA

Cada una de las mallas modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano, e intensifica la radiación difusa y además afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001). Las estructuras habituales de soporte de la malla son estructuras metálicas y las mallas de cubierta son el polietileno y polipropileno en combinación con aluminio. La coloración de los hilos es blanca, negra o transparente, combinando en muchos casos hilos de diferente coloración y combinación con aluminio.

Los sistemas de cultivo con malla sombra son sistemas alternativos a los invernaderos cubiertos con polietilenos para la producción de hortalizas (Morales y Payán, 2010b; Carluccio *et al.*, 2004). Recientemente se han empezado a introducir mallas verdes para la reducción del impacto ambiental (Soriano *et al.*, 2006).

Las mallas sombra negras y aluminadas son ampliamente utilizadas en el cultivo protegido de plantas hortícolas como técnica de control de la luz y la temperatura. Recientemente han salido al mercado mallas de colores con propiedades fotométricas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar (Ayala *et al.*, 2011).

II. 2 MALLA SOMBRA

El uso de las mallas sombra en la producción agrícola bajo protección se basa principalmente en la necesidad de una mayor área de ventilación, lo que derivó en la sustitución de la cubierta plástica por una cubierta porosa. Esto supone una mayor área de intercambio gaseoso y con ello, reducción de los gradientes de temperatura, y un nivel conveniente de dióxido de carbono (Anaya, 1993).

La malla sombra fue diseñada especialmente para controlar la cantidad de luz en los cultivos, sin embargo, bien colocada, no solamente ofrece sombra sino también puede

proteger contra cierto tipo de insectos, lluvia, viento, polvo, granizo, etc. Así mismo, reduce el consumo de agua y baja la temperatura, todo a favor de la Agroplasticultura que reduce los riesgos de la cosecha.

La malla es confeccionada con monofilamento tratado con aditivo contra rayos ultravioleta. La estructura permite protección a los cultivos durante condiciones de estrés. Estas condiciones de estrés ocasionan disminuciones en el rendimiento. Sin embargo, el sombreado permite que las plantas crezcan en mejores condiciones, mejorando así la calidad y rendimiento de los cultivos. Las mallas ofrecen protección contra insectos, viento, arena, granizo y heladas de baja intensidad, aumentando la probabilidad de mayores rendimientos y mejor calidad de frutos. Las mallas de 10 x 20 (50 mesh) presentan aberturas tan pequeñas que impiden el paso de los insectos; están tratadas contra rayos ultravioleta, propician temperaturas más bajas, porcentaje de sombreado constante (Matallana y Montero, 2001).

Los plásticos agrícolas son el resultado de la mezcla de combinación de los polímeros, cargas, pigmentos y los aditivos que les infieren las propiedades físico-mecánicas específicas, para las diferentes aplicaciones. Las aplicaciones de los plásticos en agricultura son muy numerosas. Están presentes en la producción agrícola tanto en forma de filmes (cubiertas de invernadero, túneles, acolchado, solarización, etc.) como mallas de todo tipo (cortaviento, antigranizo, sombreado, etc.). Los plásticos en concreto los filmes, se utilizaron en un principio tan solo para proteger los cultivos de las inclemencias del tiempo. Con la ayuda de los filmes y demás accesorios plásticos se consigue controlar las condiciones climáticas del lugar de plantación, creando un microclima más adecuado para las plantas de forma que la temperatura, humedad relativa, cantidad y calidad lumínica son las idóneas para obtener la máxima rentabilidad del cultivo (Jimenez,2002). Una característica común en las cubiertas para invernadero, es que son de poco peso, lo cual constituye una ventaja por la facilidad de manipulación, transporte y menores exigencias de estructura de soporte. Los polímeros más utilizados para esta aplicación son PEBD y PELBD, copolímeros de etileno y monómeros polares, como acetato de vinilo (EVA), policloruro de vinilo (PVC) plastificado (López y Losada, 2006).

II.3 VENTAJAS DE LA MALLA SOMBRA

Dentro de las ventajas que ofrece proteger al cultivo se tienen las siguientes: previenen el efecto del viento, reducen la evaporación y la transpiración de las plantas, además evitan el ingreso de los insectos; que muchas veces son portadores de peligrosas enfermedades virales. Otras de las ventajas de las mallas sombra, es que al instalarse, reducen las aplicaciones de agroquímicos, y ofrecen un menor tiempo a inicio de cosecha; finalmente, la obtención de alta calidad de las cosechas (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

Las mallas sombra afectan además a la calidad interna y externa del fruto de tomate, ya que se ha reportado que el nivel de azúcares transportados hacia los frutos depende de la tasa fotosintética, la cual está en función de la calidad de luz y temperatura que haya dentro del ambiente protegido. Hay indicios indirectos del efecto de la intensidad luminosa en el contenido de fenoles de los tomates, y en la inducción a la acumulación de azúcares.

Por lo anterior, se ha iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Maršić *et al.*, 2005; Teruo Wada *et al.*, 2006; Crisosto, 1994). Estas son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano, además, intensifican la radiación difusa y afectan sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; SAGARPA, 2009)

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

Las plantas usan la luz comprendida entre los 400-700 nm (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa, o luz de crecimiento), formada por longitudes de

onda de la radiación solar que pueden ser absorbidos por la clorofila y otros órganos foto cromáticos de las plantas, posibilitando la fotosíntesis, variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta.

Dentro de las ventajas que ofrece proteger al cultivo se tienen las siguientes: previenen el efecto del viento, reducen la evaporación y la transpiración de las plantas y evitan el ingreso de los insectos; que muchas veces son portadores de peligrosas enfermedades virales. Otra de las ventajas de las malla sombra, es que con su instalación, se reducen las aplicaciones de agroquímicos, menor tiempo a inicio de cosecha y finalmente la obtención de alta calidad de las cosechas (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

Otras de las ventajas del uso de las mallas sombras es su efecto en cuanto a la calidad interna y externa del fruto de tomate, ya que se ha reportado que el nivel de azúcares transportados hacia los frutos depende de la tasa fotosintética, la cual está en función de la calidad de luz y temperatura que haya dentro del ambiente protegido. También se tienen indicios indirectos del efecto de la intensidad luminosa en el contenido de fenoles de los tomates, además que induce a la acumulación de azúcares.

Por lo anterior, se ha iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Maršić *et al.*, 2005; Teruo Wada *et al.*, 2006; Crisosto, 1994). Estas son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano. Además, intensifica su dispersión (luz difusa) y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.*, 2001; SAGARPA, 2009).

Un ejemplo de que los colores de las cubiertas aparte de afectar los parámetros productivos influyen también en parámetros de calidad de fruto, es la investigación documentada por López *et al.*, (2008), donde, evaluando malla sombra de color roja y perla en tomate comercial, encontraron contenidos de licopeno de 51 y 37 mg kg⁻¹ respectivamente, demostrando así la influencia de la calidad de luz dependiendo el tipo de malla sobre la producción de licopeno. Ilić *et al.*, (2014) encontraron que el contenido de

clorofila total en hojas y de licopeno es mayor en malla sombra (perla, rojo, azul y negro) que en túneles de cubierta plástica (control). El grosor de pericarpio fue significativamente más alto en tomates cultivados bajo las mallas de colores perla (7,215.82 μm), rojo (7,099.00 μm) y azul (6.802,29 μm) en comparación con otros tratamientos y el control (6,202.48 μm). Para el caso del licopeno, la mayor concentración se obtuvo en tomates cultivados bajo cubierta plástica integrados con malla de color rojo (64,9 g^{-1} peso fresco).

III.EL USO DE LAS MALLAS SOMBRA

El tomate se cultiva en tres diferentes ambientes: campo abierto, casa sombra e invernadero, siendo este último en el que se obtienen los mayores rendimientos por hectárea; sin embargo, esta tecnología requiere de una inversión importante que debe analizarse cuidadosamente antes de optar por usarla. Las malla sombra representa una alternativa más económica, la cual con el grado de luminosidad adecuado puede originar plantas más vigorosas con frutos de alta calidad y rendimientos mayores que en campo abierto. Actualmente, algunas mallas poseen propiedades fotométricas especiales con las cuales se puede incrementar el aprovechamiento de la radiación solar (Ayala-Tafoya *et al.*, 2011).

III.I IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN PAR EN LAS PLANTAS

La radiación es un elemento clave en las modificaciones del aparato fotosintético, inducidas por diferentes factores abióticos, así también es uno de los tres factores más importantes que actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, junto con el oxígeno/ CO_2 y los minerales. Existe una dependencia estacional en la proporción de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) con respecto a la radiación solar. Los valores más altos ocurren durante el verano mientras que en el invierno estos valores son menores y más variables.

La radiación PAR captada por un vegetal determina la cantidad de materia seca producida y la calidad de la producción (Raffo y Iglesias, 2004). Altos valores de transmisión de radiación PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales, nuevos incrementos de la radiación no se traducen en aumentos en la tasa fotosintética de las plantas (Iglesias y Muñoz, 2007).

La radiación solar es la fuente de energía utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis mediante el cual las plantas se desarrollan, producen y crecen de materia vegetal (Caldari, 2007).

III.2. PROCESOS FISIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS INFLUENCIADOS POR LA LUZ

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

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

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

III.3 EFECTO DE LA MALLA SOMBRA EN PARÁMETROS PRODUCTIVOS

El metabolismo fotosintético es el proceso fisiológico más importante: de él dependen la productividad primaria y el rendimiento de los cultivos (el-sharkawy *et al.*, 1993), de ahí que las clorofilas son esenciales para el desarrollo de la planta, ya que son responsables para la captura de la energía solar incidente necesaria para la fotosíntesis, pues esta energía se transfiere a los productos foto sintetizados (Ferri *et al.*, 2004) y por ello influyen directamente sobre el crecimiento y la calidad de los productos pos cosecha. De igual manera, la temperatura tiene una influencia significativa sobre el crecimiento y el desarrollo de frutos de tomate, debido a que puede reducir el período de crecimiento. Además, los primeros rendimientos son más altos a temperaturas más altas (van der Ploged y Heuvelink 2005).

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

En frutales, por ejemplo, el manzano, se han estudiado las propiedades de transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en varios tipos de mallas foto selectivas y se ha encontrado que la malla de color blanco con una transmisión de radiación PAR de $1,020 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la malla gris con $639.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación PAR, fueron las que tuvieron la tasa máxima de crecimiento de fruto en relación al control (15-20%), seguidas de la malla azul y finalmente la roja (Bastías *et al.*, 2012).

Por otra parte, en ornamentales se han estudiado las mallas foto selectivas de color rojo, azul, perla y negra, todas ellas con un factor nominal del 50% de sombreo, y reportan que la radiación PAR se redujo en un mayor porcentaje en las mallas negras (55-60%) según la temporada y el menor porcentaje en la malla roja (41 a 51%) y para las mallas azul y perla, fueron intermedias. la radiación UVA y UVB fueron reducidas mayormente en la

mallas de color perla y en menor magnitud en la malla de color rojo, que son las que mayormente afectan a las ornamentales (Arthurs *et al.*, 2013).

Aparte de los resultados positivos obtenidos en variables productivas de los cultivos arriba mencionados; otro aspecto importante a considerar es su influencia en la calidad de los frutos, ya que en tomate por ejemplo, se ha observado que la radiación afecta la calidad de fruto, tales como: textura, firmeza, apariencia (Dorai *et al.*, 2001) y los compuestos oxidantes y antioxidantes (Alba *et al.*, 2000).

III.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE TOMATE

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

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

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

El tomate maduro está compuesto principalmente por agua, representando la materia seca del 5 al 7.5% aproximadamente. Los mayores constituyentes de la materia seca

son los azúcares reductores, glucosa y fructosa, con un 22 y 25% respectivamente de la materia seca (Figura 1), seguidos de los ácidos cítrico y málico, con un 9 y 4 % respectivamente, y estas 4 sustancias son los principales componentes relacionados con el sabor (Davis y Hobson, 1981). Otros componentes que podrían tener algún efecto en el sabor son las proteínas (8%), los lípidos (2%) y los aminoácidos (2%). los compuestos volátiles dan el aroma a tomate pero también influyen en el sabor.

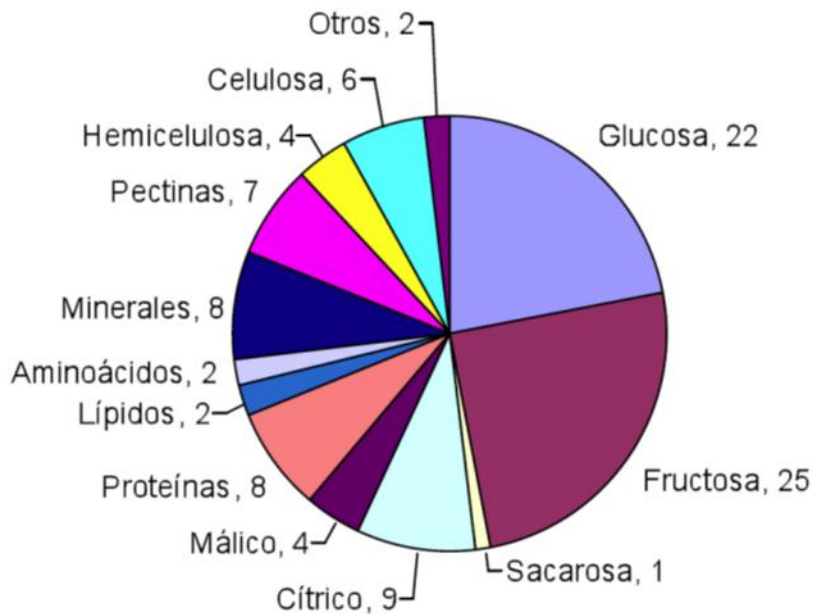


Figura 1. Composición media de la materia seca del fruto de tomate (%). tomado de Escobar, (2012).

Estudios recientes sobre los hábitos de consumo de tomate en fresco han demostrado que el sabor y el aroma son factores importantes en la selección del fruto. Su calidad para el consumo en fresco se determina por la apariencia (color, tamaño, forma, ausencia de trastornos fisiológicos y agrietados), la firmeza, la textura, la materia seca, sus propiedades organolépticas (sabor) y las nutraceuticas (de beneficios a la salud). La calidad organoléptica del tomate se atribuye principalmente a sus compuestos volátiles (aroma), el contenido y tipo de azúcares y el contenido y tipo de ácidos. Mientras que su contenido de minerales, vitaminas, carotenoides y flavonoides definen la calidad nutraceutica.

El carácter frutal, que describe mejor el sabor general del tomate, depende de las condiciones de cultivo y cultivar, y se relaciona con un aumento de los niveles de azúcares reductores y la disminución del contenido de ácidos (Dorai et al., 2001).

No todos los azúcares y los ácidos son percibidos de la misma manera por el gusto humano a igualdad de concentración, la fructosa es percibida como más dulce que la glucosa y el ácido málico como más ácido que el cítrico, de modo que un tomate con similar contenido en azúcares reductores pero con alto valor de la relación fructosa/glucosa sería percibido como más dulce que otro con más baja relación. Lo mismo ocurriría con dos frutos que tuviesen similar cantidad de ácidos orgánicos, el que tuviese mayor relación málico/cítrico sería percibido como más ácido.

Todos los factores que influyan en el contenido final de azúcares reductores y ácidos orgánicos en el fruto influirán en el sabor y habrán de ser tenidos en cuenta cuando se quiera buscar un fruto con un determinado sabor. Entre esos factores están por una parte la fisiología y desarrollo del fruto, sobre todo en la maduración, y por otra parte las características genéticas de la variedad y la forma de cultivar esa variedad. Una variedad que se quiera cultivar para obtener frutos con sabor, debe tener el potencial genético de acumular los azúcares y ácidos necesarios para conseguir ese sabor, pero a la vez, la forma de cultivar esa variedad determinará que exprese o no todo su potencial de sabor.

El mercado del tomate ha venido cambiando en los últimos años en cuanto a la calidad que demanda. Dada esta demanda, se ha mejorado bastante en cuanto a calidad se refiere y en especial, en cuanto al aspecto externo, como son: el tamaño, color, firmeza, etc.

Comúnmente se cosecha el fruto de tomate sin el cáliz para evitar que los pedúnculos dañen a otros frutos en el empaque. Esto es indispensable para cumplir con las exigencias de calidad para tomate de consumo fresco. La recolección de tomate para la industria se puede realizar tanto manual como mecánicamente. Las máquinas suelen estar equipadas con un mecanismo para la clasificación por tamaños y un aparato para la separación de tomates verdes y tomates rojos.

La clasificación de los frutos se realiza por tamaño, según los estándares de calidad; se toman en cuenta también otras características de calidad como el color de la piel o cáscara. La clasificación según el tamaño varía de acuerdo a la región, exigencias del mercado y las características propias de la variedad del tomate. Una selección general en cuanto al tamaño de los frutos consiste en lo siguiente:

- Tamaño chico, menos de 4 cm en su diámetro transversal mayor.
- Tamaño mediano entre 4 cm y 7 cm en su diámetro transversal mayor.
- Tamaño grande, más de 7 cm, en su diámetro transversal mayor.

También la clasificación en clases de diferentes calidades depende de la región y las exigencias del mercado:

- Calidad de exportación o grado elegido.
- Calidad de primera o grado comercial.
- Calidad nacional o grado económico.

Para una clasificación según normas establecidas de calidad, se toman en cuenta las siguientes características como criterios de selección:

- Uniformidad en madurez y tamaño. Se permite un limitado porcentaje de defectos.
- Firmeza de los frutos. Puede ser consistente, esponjosa o flácida.
- Limpieza. Los frutos deben de estar libres de polvo, tierra o residuos de pesticidas.
- Forma de los frutos. Las hendiduras o deformaciones influyen en la calidad.
- Sanidad. Este aspecto contempla la presencia de daños por plagas, enfermedades, heladas, excesiva exposición al sol, etc. (Von Haeff, 1983).

Más recientemente, debido al mercado cambiante y a las nuevas exigencias del consumidor, existe una preocupación por mejorar la calidad interna de los frutos de tomate, la que el consumidor final aprecia cuando los consume, sobretodo y por el

momento estas exigencias están más marcadas para el mercado de consumo en fresco, ya que se había dejado un poco de lado dando mayor importancia a la cantidad y el aspecto externo sobre esa calidad interna.

III.5 FACTORES DE PRECOSECHA EN LA CALIDAD DEL FRUTO DEL TOMATE

La calidad óptima para el consumo de tomate fresco se obtiene cuando se permite que los frutos maduren en la planta, alcanzándose de este modo el máximo sabor (Kader *et al.*, 1977). Sin embargo, la calidad y composición del tomate; como el contenido de licopeno, ácido ascórbico, pH, ácido cítrico, sólidos solubles totales (SST) y la relación entre estos dos últimos, presentan una gran variabilidad y depende de la interacción de numerosos factores que podrían clasificarse básicamente en dos grupos los intrínsecos y extrínsecos.

III.6 FACTORES INTRINSECOS

Dentro de los intrínsecos están los dependientes de las características propias del fruto, como es el aspecto genético (variedad, especie). Actualmente se están cultivando variedades más productivas y con menos problemas de cultivo, pero de peor sabor y palatabilidad. Por lo que, tanto en el sabor como en la calidad nutricional hay grandes posibilidades de mejora, bien en cuanto a la utilización de la genética (consecución de nuevas variedades), o bien en cuanto a la utilización de determinadas prácticas culturales que se deben aplicar inexcusablemente para conseguir la calidad deseada.

En realidad, si se requiere obtener frutos con mayor sabor, se debe de optar por una variedad que contenga tales características, pues existen variedades que tienen el potencial genético de acumular los azúcares y ácidos necesarios para conseguir ese sabor, pero a la vez, la forma de cultivar esa variedad determinará que exprese o no todo su potencial de sabor.

El potencial genético para conseguir sabor puede provenir de la variabilidad existente en las variedades actuales o a través de las formas silvestres del tomate. Las especies silvestres están siendo la fuente de muchas resistencias a enfermedades y plagas y de tolerancias a estreses abióticos, pero también pueden ser utilizadas para aumentar el contenido en azúcares y ácidos. Por ejemplo *Solanum chmielewskii*, *S. pennellii* y *S. neorickii* tienen del orden de 5.5 y 7 veces más ácido málico y cítrico que el tomate cultivado (*Solanum lycopersicum*). Para conseguir mayor contenido en glucosa y fructosa habría que recurrir a *S. pimpinellifolium* que alcanza al menos doble °Brix que la especie cultivada o a *S. chmielewskii* que también acumula muy altos contenidos de azúcares, hasta el 10% del peso fresco del fruto. Estas especies silvestres acumulan su alto contenido en azúcares debido a que su fruto continúa importando sacarosa aún después de haber comenzado la maduración (Balibrea *et al.*, 2006).

III.7 FACTORES EXTRINSECOS

Los factores extrínsecos comprenden aquellos que son ajenos al fruto y pueden dividirse en prácticas de cultivo y factores ambientales. Por lo que respecta a las prácticas de cultivo, se encuentran factores como el riego, nutrición, podas, agentes fitopatógenos, etc. si bien es cierto que la utilización de determinadas prácticas culturales se deben aplicar inexcusablemente para conseguir la calidad deseada, las técnicas culturales por sí solas, serían incapaces de producir un tomate de calidad, pero a su vez, sin las técnicas culturales adecuadas una variedad no expresará la calidad que atesora. Ya que ambos aspectos atañen a la calidad como sabor y a la calidad nutricional.

Entre los factores ambientales que tiene mayor influencia en la calidad del fruto, se encuentran la humedad relativa, la temperatura y radiación. resulta altamente importante controlar las temperaturas altas y mantener la humedad relativa adecuada para la producción, ya que aunque la influencia de la humedad relativa en la calidad gustativa del fruto ha sido poco estudiada, parece que en condiciones de baja humedad relativa se acumula más materia seca en el fruto, lo que redundaría en un mayor contenido en

azúcares y en ácidos y en frutos con mayor sabor, pero a su vez los azúcares se acumulan en mayor proporción que los ácidos, dando lugar a una relación azúcares/acidez más elevada y a frutos más dulces (Bertin *et al.*, 2000).

En cuanto a la radiación solar (o intensidad luminosa) y la temperatura, Erhioui *et al.*, (2002) mencionan que estos dos factores afectan la calidad del fruto del tomate tal como textura, firmeza, apariencia y los compuestos oxidantes y antioxidantes (Alba *et al.*, 2000), según Kader, (1984), probablemente la radiación solar (luminosidad), sea el parámetro ambiental que más influya en el sabor. Concretamente el contenido en azúcares, aumenta cuando la radiación es mayor (primavera-verano) y disminuyendo cuando es menor (otoño-invierno). Por otra parte al aumentar la exposición de los frutos a la radiación fotosintética se obtuvo un incremento en el contenido de licopeno y β -caroteno (Gautier *et al.*, 2005).

El tomate al cultivarse durante todo el año y en multitud de condiciones climáticas que cambian tanto con el lugar de cultivo como con la época del año. Es bastante conocido que la calidad gustativa del tomate varía también con las condiciones climáticas en las que se cultiva, pero no resulta sencillo relacionar calidad gustativa con alguno de los parámetros que definen el clima. Los parámetros climáticos que más varían con el lugar y la época del año son la radiación solar, la temperatura y la humedad relativa, pero estos parámetros no son independientes. A grandes rasgos, a mayor radiación corresponde mayor temperatura y cuando sube la temperatura disminuye la humedad relativa. De ahí que sea difícil estudiar cada una de estas variables aisladamente para conocer su influencia en la calidad gustativa.

Debido a que los parámetros ambientales (radiación solar, temperatura y humedad relativa) son incontrolables en el cultivo a campo abierto, una alternativa que junto con el empleo de variedades mejoradas permite alcanzar una alta calidad de tomates, es el cultivo bajo ambientes protegidos (invernaderos, túneles y casa sombra) (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2014). Esta forma de cultivo, brinda la posibilidad de ejercer un cierto control sobre los factores ambientales pudiendo asegurar o mejora la calidad del fruto en pre cosecha.

III.8 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

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

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

Cuadro 1 Clasificación Taxonómica

Reino	Metaphyta
Division	Magnoliophyta
Clase	Dicotyledoneas
Orden	Solanales
Familia	Solanáceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Lycopersicon esculentum</i>

III.9 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

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

alargado, de color rojo al madurar. Las semillas numerosas, más o menos circulares, aplanadas, amarillas (CONABIO, 2015).

III.10 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO DE TOMATE

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

Cifras oficiales muestran que la superficie utilizada para producir tomate bajo condiciones de invernadero y malla sombra se ha incrementado sustancialmente en los últimos años, pasando de 248 has en el año 2000 a 3066 ha en el año 2009. (FIRA, 2011).

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

El tomate es de los productos hortícolas de mayor importancia a nivel mundial, cuenta con niveles importantes de exportación aportando alrededor de un 35% de la producción de México al mercado de Estados Unidos (USDA, 2015). En México, el cultivo de tomate sobresale por ser una de las hortalizas que más han contribuido al desarrollo y

crecimiento del sector hortícola; abastece el mercado nacional y es el producto de exportación agrícola de mayor valor comercial en el país.

III.11 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

El tomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, entre 8 y 16 horas, aunque requiere buena iluminación. Iluminaciones limitadas, al reducir la fotosíntesis neta, implican mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción.

Valores de radiación total diaria en torno a 0.85 MJ/m^2 son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor iluminación en menor periodo de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo. Los efectos negativos de una baja iluminación pueden compensarse en parte con aumentos del contenido en dióxido de carbono (CO_2) del aire. (Fernando Nuez 2001).

Otras investigaciones nos dicen que:

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

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

Durante el periodo vegetativo, existen momentos críticos en los cuales resulta crucial la relación entre los factores radiación y temperatura, en momentos de menor iluminación, la temperatura del invernadero baja; y en los de mayor iluminación, la temperatura se eleva. Desequilibrios entre temperatura e iluminación, favorecen la aparición de racimos dobles y problemas en la polinización que conllevan a caída de flores o frutos mal cuajados (Castro et al., 2014).

La radiación es el factor principal para el crecimiento de la planta, pues diferente cantidad y calidad de la luz, determina la variabilidad en la productividad y calidad del cultivo, por ello, la radiación es un elemento muy importante para el control climático de una técnica de agroplasticultura como lo es la malla sombra, ya que además afecta de manera significativa la temperatura (Cázares y Figueroa, 2003).

Al comparar la información las lecturas promedio diarias de radiación PAR interior de los túneles cubiertos con las diferentes mallas, cubierta plástica y el exterior, se pueden apreciar diferencias significativas entre ellas. Durante los muestreos a lo largo del ciclo, en campo abierto se observaron los valores más altos 1165.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$, seguido por la cubierta plástica 755.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$. después la malla blanca 754.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$, en seguida la malla negra 475.6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$. y con valores más bajos la malla gris 398.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$.

Cada uno de estos valores representa para la cubierta plástica, malla blanca, malla negra y malla gris el 65.9, 62.8, 38.4 Y 34.9% de reducción de la PAR respectivamente. A diferencia de Ilić *et al.*, (2014) quienes obtuvieron reducciones de PAR de 33.9 y 55.9 % en las mallas gris y negra, diferencias debidas al lugar y época de cultivo, confirmándose así, que cada condición específica de cultivo dará resultados específicos.

III.12.1 TEMPERATURA

El tomate es una planta termo periódica, creciendo mejor con temperatura variable que constante que varía con la edad de la planta. Diferencias térmicas noche/día de 6 a 7 °C son óptimas.

La temperatura influye en la distribución de asimilados. Durante la fase de crecimiento vegetativo una temperatura alta (25°C) favorece el crecimiento foliar, a expensas del ápice, mientras que a una temperatura baja (15°C) ocurre lo contrario. Se sugiere como temperaturas idóneas del cultivo día/noche 20/18 °C.

Las altas temperaturas durante la fructificación provocan caída de flor y limitan el cuajado (30/20°C), aunque hay diferencias entre cultivares de origen genético. Menos cuajado ocurre con temperaturas bajas que en periodo de diferenciación floral son determinantes de la futura producción precoz y total por su incidencia en la fenología y morfología floral. Durante la floración la temperatura óptima es de 22 °C, para un buen cuajado.

Pero, además las temperaturas óptimas están relacionadas con la iluminación siendo recomendable una mayor temperatura con mayor radiación. Temperaturas de 22/18 °C en condiciones de buena iluminación frente a 20/16 °C, 25/17°C con buena radiación y 21/15 °C, con baja radiación parecen indicadas ante la demora que suponen en precocidad de cosecha regímenes térmicos inferiores.

En el cultivo de tomate, temperaturas de suelo inferiores a 12 °C son críticas para el desarrollo radicular, reflejando una reducción en el crecimiento de las partes aéreas. Los umbrales máximos de temperaturas del sistema radicular se sitúan en torno a 30 – 35 °C, siendo las temperaturas óptimas mayores durante las primeras semanas del crecimiento (Fernando Nuez, 2001).

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

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

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

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

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

Las temperaturas superiores a los 35 grados centígrados impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados y, por lo tanto, afectan el crecimiento de los frutos; las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los 25 grados centígrados o por debajo de 12 grados centígrados la fecundación no se produce. Durante la fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas (Castro *et al.*, 2014).

Se observó que las temperaturas de la (malla gris), (malla negra) y (campo abierto) fueron muy similares. La (malla cristal) obtuvo la más alta temperatura. De forma contraria (malla gris), (malla negra) y (campo abierto).

III.12.2 HUMEDAD RELATIVA

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

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

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

III.12.3 FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas verdes y otros organismos convierten luz en energía química y luego en carbohidratos tales como el azúcar. La fotosíntesis se realiza con máxima intensidad entre la longitud de onda 440 y 680 nm, en la mayor parte de la radiación visible. Si están satisfechos otros requerimientos de las plantas (agua, CO₂, temperatura, nutrientes, etc.) la cantidad de materia orgánica formada para llevar a cabo la fotosíntesis dependerá de la luz fotosintéticamente activa que reciba la planta. Así, a mayor cantidad de luz más cosecha, hasta un límite que dependerá de la especie y la variedad (López, 1998).

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

VI. DESARROLLO DEL CULTIVO.

En el desarrollo del cultivo, la expresión del rendimiento y la calidad de fruto son los parámetros principales a considerar en las tasas de productividad deseables. En esta investigación partiendo de los datos evaluados en trabajos con aportaciones relevantes para encontrar la respuesta fisiológica de las plantas se observó el microclima en un ciclo de cultivo en algunos macro túneles, evaluados en cinco muestreos: 28, 63, 91, 105 y 123 días después del trasplante (DDT). En la cual para esta actividad se seleccionaron cuatro plantas por tratamiento y 16 plantas en total para cada tratamiento. Para la evaluación de la altura de planta, se utilizó una cinta métrica y para el diámetro de tallo un vernier digital. En tanto que, para el número de hojas, racimos florales, número de flores y número de frutos, el conteo se realizó de forma manual.

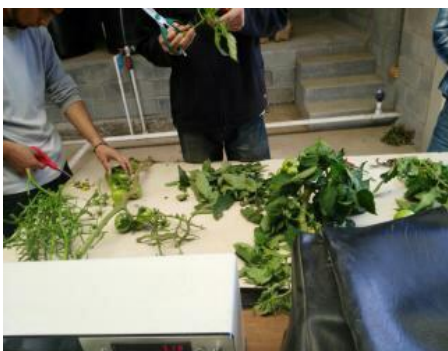
Cuadro 2 Frecuencia en que se realizaron las mediciones e instrumentos utilizados.

Parámetro	Método/instrumento	Frecuencia de mediciones
Altura de la planta	Cinta métrica	28, 63, 91, 105 y 123 ddt
Diámetro del tallo	Vernier digital	28, 63, 91, 105 y 123 ddt
Numero de hojas, racimos florales, número de flores y número de frutos	Cuantificación manual	28, 63, 91, 105 y 123 ddt

Datos observados en la tesis "Respuesta de la Calidad del Fruto de Tomate a los diferentes porcentajes de sombreo" CIQA

VI.1 ÁREA FOLIAR Y BIOMASA

La medición del área foliar, peso seco de tallos, hojas, flores y frutos, se realiza con cuatro muestreos a los 70, 93, 107, 135 y DDT, según la tesis revisada tomando una planta por tratamiento para un total de cuatro plantas por repetición. Las plantas se seleccionaron de acuerdo con los criterios de uniformidad en tamaños y grosores de plantas y que estuvieran en competencia completa con otras plantas por agua, nutrientes, espacio y luz, alejadas del efecto de borde. Las plantas fueron llevadas a un cuarto de fertiriego en donde, planta por planta, se cortaron con una tijera, separando hojas, tallos, flores, frutos y pecíolos; para posteriormente colocarlos en bolsas de papel, a excepción de las hojas. El área foliar de las hojas se midió en un integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR), Inc. Lincoln, Nebraska, EU); después estas hojas se metían también dentro de una bolsa de papel y se etiquetaban junto con las demás. Posteriormente para la determinación de la biomasa en base seca



*Figura 2 Método destructivo
(separación de la planta de tomate para
la evaluación de su crecimiento)*



*Figura 3 Estufa de secado en que se
metieron las hojas durante 72 horas a
70° C*

(peso, seco de hojas, tallos, flores y frutos), las muestras fueron colocadas en una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 horas y posteriormente se pesaron.

Cuadro 3.- Parámetros de medición, instrumentos y frecuencia.

Parámetro	Método/instrumento	Frecuencia
Área Foliar	Destructivo/LI. 3100c (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, EU)	70, 93, 107 y 135 ddt
Biomasa	Muestras colocadas en una estufa de secado a 70° c durante 72 horas	70, 93, 107 y 135 ddt
Peso Seco	Balanza Digital	72, 95, 109 y 137 ddt

VI.2 FOTOSÍNTESIS

La medición de la Fotosíntesis se realizó a los 44, 67, 91, 105 y 133 días después del trasplante según nos explica la literatura revisada. La medición se realizó mediante un analizador de gases en infrarrojo IRGA LI-6400 XT (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU.). Las lecturas se tomaron siempre a la misma hora: a las 12:00 pm en condiciones de cielo despejado, sobre hojas jóvenes pero completamente desarrolladas y en una posición perpendicular a la radiación solar. Para la medición se seleccionó una planta de la parte media del macro túnel; posteriormente se determinaron los promedios de las mediciones para graficar la fotosíntesis y se hizo un análisis de su comportamiento.



Figura 4 Toma de fotosíntesis infrarrojo, IRGA LI-6400 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU)

Cuadro 4 Instrumento y frecuencia con la que se tomó fotosíntesis

Parámetro	Método/instrumento	Frecuencia
Fotosíntesis	Analizador de Gases44, 67, 91, 105 y 133 Infrarrojo Li-6400 (Li-cor, Inc. Lincoln, Nebraska, EU	ddt a las 12:00 pm

VI.3 COSECHA

La cosecha fue realizada según la investigación todos los lunes a partir de la aparición de los primeros frutos, se recogían los frutos por túnel, se iban seleccionando los frutos de las plantas marcadas, y se iba sometiendo a diferentes mediciones para evaluar rendimiento y calidad, el resto del tomate se sometía a otras mediciones como peso y calidad.



Figura 5 Cosecha del producto obtenido a partir de los 5 tratamientos a evaluar

VI.4 RENDIMIENTO Y CALIDAD

Según la fuente de investigación y los experimentos en base a la aplicación y diversificación de intensidades de radiación, temperatura y cubiertas de diferentes

colores arrojaron datos significativos los cuales observamos en los resultados de la toma de datos en este trabajo.

El rendimiento y calidad del cultivo se realizó de acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-FF-009 y el Pliego de Condiciones para el uso de la marca Oficial México Calidad Suprema en Tomate PC-020-2005. Para la determinación de grados Brix se seleccionaron cuatro frutos de cada repetición uno por cada planta marcada. Para la determinación se aplicó una gota del jugo de cada tomate y se midió con un refractómetro de mano Atago N1, Brix 0 -32%, con cada uno de los frutos a evaluar.

Los datos de firmeza del fruto se obtuvieron con un penetrómetro manual FT Fruit Tester de 1-13 kg. Se tomaron lecturas de cuatro frutos por cada tratamiento.



Figura 6 Vernier electrónico



Figura 7 Penetrómetro manual FT Fruit Tester, Greenwich, Connecticut, EE. UU



Figura 8 Báscula Electrónica

Cuadro 5 Instrumentos que se utilizaron en toma de datos para calidad de tomate.

Parámetro	Método/instrumento	Frecuencia
Grados Brix	Refractómetro de mano Atago N1 Brix 0 – 32%	Se tomaron datos cada semana cada que se cosechaba
Firmeza	Penetrometro manual FT Fruit Tester de 1 – 13 kg	Se tomaron datos cada semana, cada que se cosechaba

VII. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la variante clima que afecta a las diferentes regiones, no sólo de nuestro estado y nuestro país, sino de gran parte del planeta, a consecuencia del cambio climático, los cultivos hortícolas y ornamentales han experimentado una tendencia cada vez más marcada hacia la obtención de una producción anticipada o fuera de estación, en ocasiones diferentes a aquellas en las que tradicionalmente dichos productos se cultivan a campo abierto. Tendencia que ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales, polímeros, cargas, aditivos y estructuras en la producción de los cultivos con la finalidad de obtener altos rendimientos con productos de mejor calidad. A esta actividad se le conoce como AGROPLASTICULTURA y en gran medida ha sido resultado del desarrollo de los materiales plásticos, los cuales a su vez son resultado del desarrollo de la petroquímica, y del conocimiento de los procesos fisiológicos de los cultivos mismo que se aceleró a mediados del siglo pasado.

La presente investigación está enfocada a mejorar la calidad de frutos de tomate influenciada por las condiciones de cultivo modificando el ambiente controlado con énfasis en la radiación y la temperatura incidentes en el cultivo de tomate mediante la utilización de 3 mallas sombra diferentes (gris, blanca y negra) y una cubierta plástica.

El empleo de este tipo de mallas permitirá, eliminar los excesos de temperatura y aumentar la humedad relativa principalmente en las temporadas de altas radiaciones y temperaturas, permitiendo de esta forma la producción de frutos, incrementos en la calidad y aumentos en los rendimientos del cultivo de tomate.

VIII. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DIFERENTES INVESTIGACIONES

Dentro de este documento se revisaron datos estadísticos de experimentos realizados por Eriberto Pérez López, Maestro en Ciencias con especialidad en Agroplasticultura por el CIQA, en los cuales pudimos constatar la efectividad de la utilización de las mallas sombras y su competencia en cuanto a la calidad de radiación y temperatura dando así datos relevantes en cuanto a la implementación positiva para los diferentes factores a considerar en la producción del fruto. Al revisar señalamos algunos factores de importancia en producción como los que se presentan a continuación

VIII.1 RENDIMIENTO

VIII.1.1 NÚMERO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA

Según las evaluaciones revisadas de los experimentos que se presentan en la revisión de este documento no indican que factores como el número total de frutos por experimento y los resultados muestran que existe diferencia altamente

significativa entre los mismos. En (cielo abierto) fue donde se obtuvo menor número de frutos por planta, con una producción total de 11 frutos por planta; mientras que la (malla sombra negra) y la (malla sombra gris) mantienen una producción total similar con 14 frutos por planta respectivamente, sin haber diferencias estadísticamente significativas entre sí. Los experimentos que si presentan diferencia significativa con respecto a esto son la (malla sombra cristal) y la (cubierta plástica), con una producción de 19 y 16 frutos por planta. La malla sombra cristal propició mejores condiciones por lo que la respuesta de la planta se refleja en una mayor producción de frutos.

Cuadro 6 Número de frutos por planta de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$)

Tratamiento	Núm. de Frutos
T1	13.8 ab
T2	19.5 c
T3	14.3 ab
T4	16.5 bc
T5	11.0 a

En el número de frutos producidos por planta en cada uno de los muestreos, se comporta de forma similar en cuanto a las diferencias estadísticas mencionadas anteriormente, como es posible observar en la figura 26

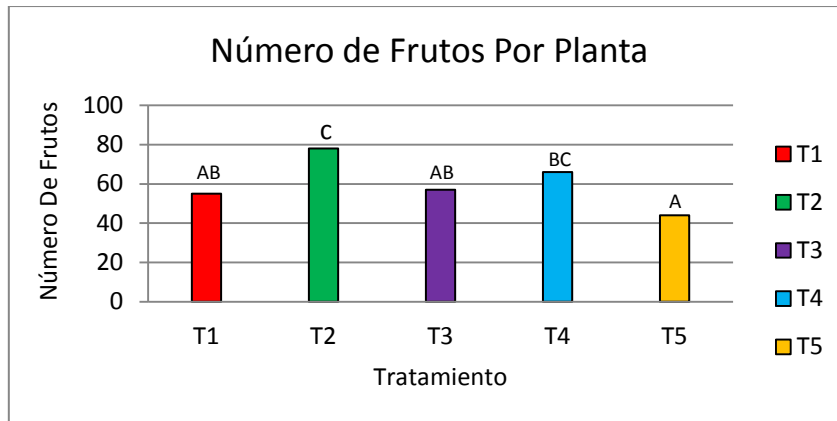


Figura 9 Número de frutos cosechados, de un cultivo de tomate tipo bola, bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p=0.05$).

Podemos inferir que el número total de frutos cosechados (Fig. 26) tiene una gran incidencia en el rendimiento de la planta de tomate por lo que cualquier factor o técnica de manejo dirigido a lograr el mayor número de estos potenciará grandemente el rendimiento de este cultivo.

VIII.2 PESO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA

El total de cortes de fruto realizados fue de 9, iniciando el día 12 de octubre y terminando el día 14 de diciembre de 2015. Se realizó el análisis de varianza y comparación de medias (Duncan $p=0.05$) y los resultados (Cuadro 18) muestran que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Para el tratamiento dos se encontraron diferencias estadísticas significativas llegando a tener un rendimiento de $3414 \text{ g planta}^{-1}$ (alrededor de 1000 g más que el resto de los tratamientos).

Cuadro 7 Peso total de frutos por planta de un cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).

Tratamiento	Peso (g de fruto por planta)
T1	1991 ^a
T2	3414 ^b
T3	2120 ^a
T4	2519 ^{ab}
T5	1638 ^a

VIII.3 CALIDAD DE FRUTO

En el cuadro 19 se presenta la cantidad de frutos cosechados y su clasificación establecida por la Norma Oficial de Calidad de Tomate para el tipo bola, en el cual no hay gran cantidad de frutos rezagados y no representan diferencia estadística significativa entre los tratamientos. De igual manera es el caso de la calidad CH y la calidad M donde tampoco se presentan diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 8 Número de frutos cosechados por categoría comercial referente a la calidad de frutos cosechados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).

Tratamiento	R	CH	M	G	EG	MEG
T1	2.0 ^a	6.3 ^a	14.3 ^a	23.3 ^{ab}	51.0 ^{bc}	26.3 ^b
T2	4.5 ^a	8.3 ^a	16.8 ^a	28.3 ^{ab}	62.3 ^c	37.3 ^b
T3	2.5 ^a	9.8 ^a	16.5 ^a	26.5 ^{ab}	41.5 ^{ab}	10.5 ^a
T4	2.0 ^a	12.8 ^a	19.5 ^a	39.3 ^b	59.0 ^{bc}	26.8 ^b
T5	4.0 ^b	5.5 ^a	5.8 ^a	12.3 ^a	23.5 ^a	6.0 ^a

En la calidad EG es donde se encuentra una mayor diferencia significativa entre los tratamientos. En esta categoría es donde todos los tratamientos concentran el mayor número de frutos. El tratamiento dos fue quien produjo una mayor cantidad de frutos, siendo este el mejor tratamiento en cuanto a calidad de frutos. El tratamiento cinco fue el que se comportó de manera menos variable produciendo menor cantidad de frutos en todas las categorías.

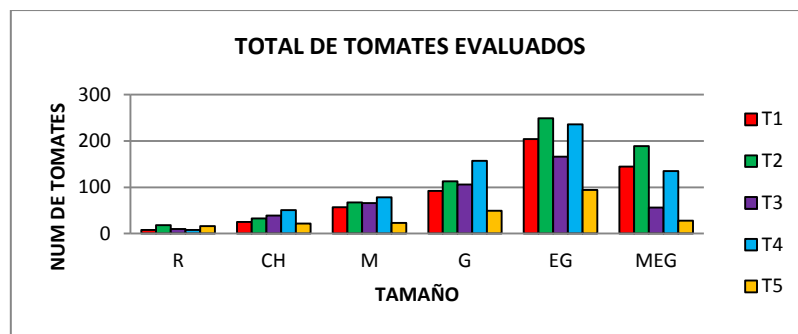


Figura 10 Resultados encontrados para la variable calidad de frutos cosechados por categoría comercial, de un cultivo de tomate tipo bola, bajo diferentes colores de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).

Un mayor calibre del fruto corresponde a mayor peso y será expresado en mayor rendimiento, como se refleja en el tratamiento dos; que fue el que produjo mayor número de frutos extra grandes y máximo extra grandes y se vio reflejado en el peso ya que también fue el tratamiento que alcanzó mayor rendimiento. El tratamiento dos (malla cristal) fue quien obtuvo la mayor cantidad de frutos con calidad EG; seguido por el tratamiento cuatro (cubierta platica). Lo anterior coincide con una mayor temperatura presente en ambas películas, las cuales ayudaron al crecimiento de los frutos.

VIII.4 FIRMEZA

Para el parámetro de firmeza de los muestreos a lo largo del ciclo del cultivo, no se presentaron diferencias significativas, como es posible observar en el cuadro 20 siguiente:

Cuadro 9 Resultados de la medición de la firmeza en el fruto encontrados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).

Tratamiento	Firmeza kg/cm ²
T1	6.0 ^a
T2	5.5 ^a
T3	5.0 ^a
T4	5.0 ^a
T5	6.2 ^a

VIII.5 GRADOS BRUX

Al realizar el análisis de varianza de los muestreos se sacaron promedios para esta variable y se encontró que no hubo diferencias entre los tratamientos (Cuadro 21). Obteniendo la mayor acumulación de Grados Brix para la cubierta plástica, seguido de la malla negra, después la malla cristal. Las diferencias entre los valores se atribuyen a la diferente cantidad de radiación que dejó pasar cada una de las mallas hacia el interior del túnel. Pues se ha reportado que a mayor radiación se acumula más contenido en azúcares y se obtienen frutos con mayor sabor (Bertin *et al.*, 2000).

Cuadro 10 Resultados de la medición de grados brix en el fruto encontrados en el cultivo de tomate tipo bola bajo diferentes tipos de malla sombra, cubierta plástica y cielo abierto. Letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan $p=0.05$).

Tratamiento	Grados Brix
T1	7.20 ^a
T2	7.39 ^a
T3	7.42 ^a
T4	7.43 ^a
T5	7.16 ^a

IX. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE ACUERDO A LOS EXPERIMENTOS PRESENTADOS SEGÚN LOS AUTORES

1. Se observaron dos grupos de valores similares de transmisión de la radiación PAR: uno formado por la malla cristal y la cubierta plástica con valores de transmisión de alrededor del 60% y otro grupo formado por la malla gris y la negra con valores de transmisión de la radiación PAR de alrededor del 36%.
2. La mayor temperatura se presentó en la malla blanca y al final en la cubierta plástica. Estos valores de temperatura condicionaron al DPV, ya que se comportó de forma similar en ambos tratamientos: fue mayor al inicio en la malla blanca y mayor al final en la cubierta plástica. No se encontraron grandes diferencias en la humedad relativa alcanzada en cada uno de los tratamientos.
3. Dentro de las variables morfológicas, la altura de planta fue menor en el tratamiento de campo abierto; sin embargo, obtuvo en mayor diámetro basal. Los tratamientos que obtuvieron un mayor número de hojas fueron los de mayor temperatura inicial y final; es decir, el tratamiento 2 y el 4, que corresponden a la malla cristal y a la cubierta plástica.

4. El tratamiento con mayor número de flores fue el cuatro, seguido de cerca por los tratamientos uno y dos.
5. El tratamiento cinco fue el de menor número de frutos y los tratamientos dos y cuatro fueron los que mayores frutos acumulados presentaron. Resultados similares se obtuvieron para el número de racimos por planta.
6. Para el caso del área foliar, los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos de menor radiación, excepto para el tratamiento de campo abierto.
7. Los tratamientos con mayor índice de fotosíntesis fueron el dos y el cuatro; los cuales corresponden a la mayor radiación PAR transmitida, excepto para el tratamiento de campo abierto.
8. En cuanto al número total de frutos por planta, los tratamientos dos y cuatro obtuvieron los mayores números; correspondiéndose estos con los mayores rendimientos obtenidos en este trabajo de investigación. También se obtienen las mayores calidades de frutos en estos dos tratamientos.

X. CONCLUSIÓN

La evaluación y caracterización de las mallas sombras de colores permitirá ampliar las fronteras del conocimiento en regiones de altas radiaciones y temperaturas y de esta forma validar la información que se ha obtenido en otros países en los cuales se han desarrollado recientemente con resultados alentadores. Con esta evaluación se estará contribuyendo, a la solución tecnológica, para lograr el incremento del potencial de producción en estas regiones

IX. LITERATURA CITADA

Alba, R., Cordonnier-Pratt, M.-M. Y Pratt, L. H. (2000). Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiology*. 123(1): 363-370.

Anaya, L, A. 1993. Invernaderos, una alternativa prometedora para las zonas áridas de México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 70 p.

Anglés, M. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura* 19: 28-34.

Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D. M., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., de Jesús Velázquez-Alcaraz, T., Díaz-Valdés, T. y Osuna-Sánchez, J. A. (2011).Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. In *Terra Latinoamericana*, Vol. 29, 403-410.

Arthurs, S. P., Stamps, R. H. y Giglia, F. F. (2013). Environmental modification inside photoselective shadehouses. *HortScience*. 48(8): 975-979.

Bastias, M. R.; Manfrini, L. and Grappadelli, L. 2012. Exploring the potential use of photo-

Selective nets for Fruit growth regulation in apple. *Chilean Journal of Agricultural*

Research 72(2).

- Bastida, A. (2006). Manejo y operación de invernaderos agrícolas. UACH. Dpto. de Preparatoria Agrícola. México. 237.
- Bautista, M. N., Chavarín, P. y Valenzuela, E. (2008). Jitomate: Tecnología para su Producción en Invernadero. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Bringas, G. L. (2004). Producción de tomates en climas extremos. En: Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas. 8: 10-13.
- Caldari, J. P. (2007). I Simposio Internacional de Invernaderos 1-5.
- Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernadero en la costa mediterránea española. incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. López, JC; Lorenzo, P. 35-49.
- Castro, J. D., Gómez, J. G. y Rivera, J. G. G. M. (2014). Automatización de un invernadero de plántulas de tomate rojo. Ciencia e Ingeniería. 1(2): 1-20.
- Cerny, A., Rajapakse, C. y Ryu, Y. (1999). Recent development in photosensitive greenhouse covers. In Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plastics, 75-80.

Cook, R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Departamento de Agricultura y Recursos Económicos. Universidad de California, Davis.

Conabio. (2015). Descripción Botánica. En. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm>. [accesado Agosto 2015].

Corrales, C. S. (2015). Efecto de tres películas plásticas sobre el microclima del invernadero y el comportamiento agronómico de tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill.

Escalona, C., Alvarado, V., Monardes, M., Urbina, Z. y Martin, B. (2009). Manual de Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Publicación. 3311: 580.

Espí, E., Calvo, M., Fontecha, A. y Real, A. (2010). Desarrollo de Nuevos Materiales Plásticos para Agricultura: Proyecto Cenit Mediodía. Revista de Plásticos Modernos. 100(649): 108-118.

Fornaris, G. J. (2007). Características de la planta. In Conjunto tecnológico para la producción de tomate de ensalada, 120: Universidad de Puerto Rico, (Recinto de Mayagüez), Colegio Ciencias Agrícolas, Estación Experimental Agrícola.

Ganelevin, R. 2008. World-wide commercial applications of c shade nets technology (Chromatinet®). Acta Hortic. 199-203.

- Iglesias, N. y Muñoz, A. (2007). Comparación de la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. *Horticultura Argentina*. 26(60): 10-16.
- Ilić, Z. S., Milenković, L., Šunić, L. y Fallik, E. (2014). Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Jasso Ch., C. M.A. Martínez G., A.G. Alpuche S., y E. Garza U. 2011a. Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí. Folleto técnico No. 41. INIFAP-CIRNE- Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, México. 39 pág.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media.
- López, G. J. (1998). Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. En: *tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA)*. 15-29.
- Lorenzo, P. (2001). *Influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos*. Caja Rural de Almería.

- Maklad, F.M.; Abd-Alla, A.M. and Abou-Hadid, A.F. 1996. Evaluation of tomato hybrid fruit production and reaction to tomato mosaic virus infection. Proceeding of the International Symposium on Strategies for Market Oriented Greenhouse Production. Acta Horticulturae 434:185-190.
- Marín, P., Valera, D., Moreno, M., Molina-Aiz, F., López, A. y Peña, A. (2014). Influencia de diferentes tipos de estructuras de invernadero, mallas anti-insectos y técnicas de control climático, sobre la fotosíntesis y la transpiración de plantas de tomate.
- Matthews, M. A. (2004). Growth and physiology of the grapevine. Viticulture & Enology 110. University of California, Davis 6. Fundamentals of light. Environmental Control of photosynthesis. 67-69.
- Maršić, N. K., Osvald, J. y Jakše, M. (2005). Evaluation of ten cultivars of determinate tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), grown under different climatic conditions. Acta Agriculturae Slovenica. 85(2): 321-328.
- Matallana G., A. y Montero C., J. I. 2001. Invernaderos. Diseño, Construcción y Ambientación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México. 209 p.
- Ocaña, R. C. (2004). Ventajas competitivas y comparativas. El tomate en México y Estados Unidos. En: Cultivo de Tomate. Productores de hortalizas. 8: 45-48.
- Oren-Shamir, M., E. E. Gussakovsky, E. Spiegel, A. Nissim K. Ratner, R. Ovadia, Y. E. Giller, and Y. Shahak. 2001. Co shade nets can improve the yield and quality of green deco branches of *Pittosporum variegatum*. J. Hortic. Sci. Bi 76: 353-361.

- Ortiz, V. I. C. (2014). Efecto de la topología en el rendimiento, calidad y rentabilidad del tomate (*Lycopersicum Esculentum* Mill) en un sistema de producción bajo invernadero.
- Peña, P. A. (2003). Evaluación de dos sistemas de producción del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. h. Gabriela) bajo condiciones de invernadero. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Picken, A. J. F. (1984). A review of pollination and fruit set in the tomato. *J. Hort. Science*. 59(1): 1-13.
- Sativa (2004). Innovación para agricultura sostenible y responsable. En: Sativa, Página principal. (En línea). Disponible en: <http://www.sativa.it/es/pr168-horus-f1/>
- Shahak, Y. 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Hort*. 770: 161-168.
- Shahak, Y.; Elazar, G.; Yossi, O. and Ben-Yakir, D. 2008. Photosensitive Shade Netting Integrated with Greenhouse Technologies for Improved Performance of Vegetable and Ornamental Crops. *Acta Hort*. 797: 75-80.

Steven, P.A.; Stamps, R.H. and Giglia, F.F. 2013. Environmental Modification Inside Photosensitive Shadehouses. Hortscience 48(8):975–979.

Valera, D., F. Molina y J. Gil. 2001. Las mallas como tecno control climático en invernaderos. Vida Rural 8: 50-52.

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

Cruz, J., Jimenez, F., Ruiz, J., Díaz, G., Sanchez, P., Perales, C. (2003). Evacuación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon Esculentum* mil), en invernadero. Agronomía mesoamericana. CIGA-ITA 23, Bol. 14. Oaxaca, México. Pp. 85-88.