

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMIA



**“EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
DEL CULTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum*
Mill h. Gabriela) BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

Por:

SANDINO VILLATORO MORENO

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre del 2005**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

Presentada por:

SANDINO VILLATORO MORENO

TESIS

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el título de :**

INGENIERO EN AGROBIOLOGIA

Aprobado por:

Dr. Manuel De La Rosa Ibarra

Presidente

Dr. Juan Munguía López

Asesor externo

Dr. José A. Villarreal Quintanilla

Asesor interno

M.C. Rosario Quezada Martín

Sinodal

M.C. Arnoldo Oyervides García

Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre del 2005.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) por permitirme formarme como Ing. En Agrobiología en sus instalaciones, y por brindarme los servicios tan indispensables para cumplir mis metas.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por permitirme realizar mi trabajo de investigación , en especial al departamento de Agroplásticos y a las personas que ahí laboran.

Al fondo sectorial de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura, agrobiotecnología y recursos fitogenéticos a través del proyecto titulado: **Modelo en base a los componentes del balance de energía para medir el consumo de agua en los cultivos de tomate, chile y papa**, Con num. de registro 133 de la convocatoria SAGARPA-2003-002. por el apoyo recibido.

Al comité de asesoría:

Al Dr. Manuel de la Rosa Ibarra, por su asesoría, apoyo y revisión de este escrito.

Al Dr. Juan Mungía López, por su gran apoyo en la revisión y corrección de este escrito, por sus consejos y lecciones.

Al Dr. José A. Villareal Quintanilla, por su apoyo en la revisión de este documento.

A la M.C. Rosario Quezada Martín, por la asesoría y apoyo en la revisión de esta tesis.

A todos mis amigos y compañeros de la cuarta generación de la carrera de Ing. En Agrobiología, a mis amigos de otras carreras, a mis amigos de Chiapas y de otros estados, por brindarme su amistad, por darme consejos, apoyarme y convivir todos estos años.

DEDICATORIA

Este escrito lo dedico a las personas que me dieron la vida, a las que me forjaron un carácter y sembraron en mí la semilla de la prosperidad, a las personas que me enseñaron que solo es pobre aquel que carece de conocimientos, por el enorme esfuerzo y sacrificio que hicieron por darme siempre lo mejor:

A mis padres: Rosalba Moreno González
Hernán Villatoro Barrios

A mi bisabuelo Regino Barrios Girón, por enseñarme a trabajar el campo, por abrirme los ojos a un mundo maravilloso lleno de sabiduría, por darme consejos y cuidarme por tanto tiempo ().

A mi abuela Leandra Barrios Girón, por cuidarme y darme amor, durante el tiempo que me cuido ().

A mis hermanos:

Hernán Villatoro Moreno.
Sendic Villatoro Moreno.
Libia Yunuen Villatoro Moreno.

A mis tías y tíos:

Luz Maria Palomeque Barrios.
Delia Jose Barrios.
Socorro Chacon Barrios.
Ernesto Vazquez Barrios.
Flor de Maria Palomeque Barrios.

A Corintia Olvera Carmona e Isis Alejandra Villatoro Olvera, por ser mi razón de seguir adelante, por ser mis parte de mi vida y ser mi nueva familia con la que comparto mis alegrías, tristezas y logros.

A mi familia: tíos, tías, primos, primas y abuela de los edos. De Michoacán y Chiapas, por apoyarme y con partir momentos alegres y tristes.

INDICE DE CUADROS

No.		Pag.
3.1	Aportación proporcional de nutrientes para el cultivo de tomate híbrido Gabriela en condiciones de invernadero.	31
A1	Concentración de datos de rendimiento, numero de fruto y peso promedio de frutos por corte.	55
A2	Concentración de datos de los Coeficientes de Partición de Biomasa por fracción, con análisis de varianza y su grado de significancia.	56
A3	Concentración de datos de las Tasas de Crecimiento Relativo por fracción, con análisis de varianza y su grado de significancia.	57
A4	Concentración de datos de el análisis de crecimiento, con análisis de varianza y su significancia.	58
A5	Análisis de varianza de medias de la actividad fotosintética y conductancia estomatica en las plantas de tomate en diferentes sistemas cultivo para los tres muestreos.	59

INDICE DE FIGURAS

No.		Pag.
4.1	Fotosíntesis en función de la conductancia estomática con ecuación de tendencia y factor de correlación.	36
4.2	Coefficientes de partición de biomasa de las plantas de tomate, cultivadas en diferentes sistemas de cultivo bajo condiciones de invernadero.	38
4.3	Comportamiento del área foliar específica en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	39
4.4	Comportamiento de la razón de peso foliar en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	40
4.5	Comportamiento de la razón de área foliar en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	4.1
4.6	Comportamiento de la tasa de asimilación neta en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	42
4.7	Comportamiento de la tasa de crecimiento relativo en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	44
4.8	Comportamiento del índice de eficiencia de crecimiento del fruto en los dos sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación.	45
4.9	Comportamiento de la bioproductividad de las plantas de tomate en diferentes sistemas de cultivo durante el tiempo de evaluación (15-105 DDT)	47
A1	Índice de eficiencia de crecimiento del fruto en función de la tasa de asimilación neta en los 75-90 DDT.	59
A2	Correlaciones para TCR y sus componentes (TAN y RAF), en ambos sistemas de cultivo, con ecuación de tendencia y factor de correlación.	60

A3 Correlación entre la RAF y sus componentes (RAF y RPF), en ambos sistemas de cultivo, con ecuación de tendencia y factor de correlación.

60

RESUMEN

En este trabajo se analiza el efecto de dos sistemas de cultivo en el comportamiento de la bioproductividad y rendimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), bajo condiciones de invernadero. Los sistemas de cultivo utilizados fueron suelo con acolchado plástico y semihidroponía con el sustrato perlita. Se evaluó la acumulación de materia seca, área foliar, asimilación de CO₂, resistencia estomática y rendimiento, además se realizó una cinética de crecimiento en relación a los valores de materia seca evaluados y también se midió la radiación total que ocurrió durante el periodo de evaluación, para determinar la eficiencia de conversión de energía a materia seca en ambos sistemas de cultivo, los datos obtenidos se analizaron con un diseño experimental de bloques completamente al azar, con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

Los resultados muestran que ambos sistemas de cultivo se comportaron de manera semejante para el caso de acumulación de materia seca y rendimiento; existió diferencia estadísticamente significativa para la primera y tercera medición de fotosíntesis. Se mostraron diferencias estadísticamente significativas en la Tasa de Asimilación Neta (TAN) para el cuarto y quinto muestreo y para la Razón de Área Foliar (RAF) para el quinto y sexto muestreo. Se presentó una interacción en el quinto periodo de evaluación entre TAN y RAF, ya que se observaron cambios notables en la TCR, que beneficiaron a las plantas cultivadas en sustrato provocando una mayor TCR; con respecto al rendimiento (ton/ha), no se presentó diferencia estadísticamente significativa, tampoco respecto al número de frutos y peso promedio. Las plantas que tuvieron una mejor eficiencia en la conversión de radiación total en materia seca, fueron las cultivadas en suelo acolchado, también con este sistema de cultivo se ahorró casi en 50% de agua y se presentó un mejor rendimiento total.

INDICE DE CONTENIDO

	pagina
INDICE DE CUADROS.	.v
INDICE DE FIGURAS .	.vi
RESUMEN.	.viii
INTRODUCCIÓN .	
	.1
1.1 Hipótesis .	.3
1.2 Objetivos .	.3
REVISION DE LITERATURA .	
	.4
2.1 Cultivos sin suelo .	.4
2.1.1 Sustratos .	.5
2.2 Acolchado .	.7
2.3 Fertirrigación .	.8
2.4 Invernadero .	.9
2.4.1 Materiales de Cobertura .	.10
2.5 Bioproductividad .	.12
2.6 Generalidades del Cultivo de Tomate .	.13
2.6.1 Origen del tomate .	.13
2.6.2 Taxonomía .	.14
2.6.3 Morfología .	.15
2.6.4 Características Del Tomate Híbrido Gabriela .	.16

2.7	Requerimientos Edafoclimaticos y Nutricionales	. . .	.16
2.7.1	Suelo	. . . . .	.16
2.7.2	Temperatura	. . . . .	.16
2.7.3	Luz	. . . . .	.18
2.7.4	Humedad Relativa y Disponibilidad de Agua	. . .	.19
2.8	CO ₂ y Fotosíntesis	. . . . .	.20
2.9	Componentes del Análisis del Crecimiento Clásico	. . .	.22
2.9.1	Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)	. . .	.22
2.9.2	Tasa de Asimilación Neta (TAN)	. . .	.23
2.9.3	Razón de Área Foliar (RAF)	. . .	.23
2.9.4	Razón de Peso Foliar (RPF)	. . .	.24
2.9.5	Área Foliar Especifica (AFE)	. . .	.24
2.9.6	Índice de eficiencia de crecimiento del fruto (IECFr)	. . .	.24
2.9.7	Coeficientes de partición de biomasa	. . .	.25
I.	MATERIALES Y MÉTODOS	. . . . .	.26
3.1	Descripción del Sitio Experimental	. . . . .	.26
3.1.1	Localización	. . . . .	.26
3.1.2	Clima	. . . . .	.26
3.2	Material vegetativo	. . . . .	.27
3.3	Establecimiento del experimento	. . . . .	.27
3.3.1	Tamaño del invernadero	. . . . .	.27
3.3.2	Producción de Plántulas	. . . . .	.27
3.3.3	Preparación del Invernadero	. . . . .	.28
3.3.4	Transplante	. . . . .	.29

3.3.5 Fertilización . . . . .	.29
3.4 Labores culturales . . . . .	.30
3.4.1 Tutorado . . . . .	.30
3.4.2 Poda de brotes o crecimiento axilar . . . . .	.30
3.4.2 Poda de hojas . . . . .	.30
3.5 Variables evaluadas . . . . .	.31
3.5.1 Acumulación de materia seca . . . . .	.31
3.5.2 Rendimiento . . . . .	.31
3.5.3 Cinética de crecimiento . . . . .	.31
3.5.4 Área foliar . . . . .	.32
3.5.5 Fotosíntesis .. . . .	.32
3.5.6 Radiación Total Incidente .. . . .	.32
3.6 Diseño experimental . . . . .	.32
II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN . . . . .	.34
4.1 Fotosíntesis y Resistencia Estomatica . . . . .	.34
4.2 Análisis de Crecimiento . . . . .	.35
4.2.1 Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB) . . . . .	.36
4.2.2 Área Foliar Especifica . . . . .	.37
4.2.3 Razón de Peso Foliar . . . . .	.39
4.2.4 Razón de Área Foliar . . . . .	.39
4.2.5 Tasa de Asimilación Neta . . . . .	.41
4.2.6 Tasa de crecimiento relativo . . . . .	.42

4.2.7	Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto .	.
	.43	
4.3	Rendimiento . . . . .	.44
4.4	Bioproductividad . . . . .	.45
V	CONCLUSIONES . . . . .	.47
VI	LITERATURA CITADA .. . . .	.48
VII	APÉNDICE . . . . .	.54

III. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen una gran variedad de sistemas de producción (monocultivos, policultivos, intercalado de cultivos, hidroponía, etc.) los cuales conjuntamente con la utilización de invernaderos buscan aumentar la producción agrícola y mantener esta producción durante todo el año.

Recientemente la utilización de invernaderos para la producción de hortalizas en sustratos con fertirriego, ha permitido a los agricultores aumentar la producción por unidad de superficie, incrementar la calidad de los productos y, que esta sea constante a lo largo del año (Sandoval, 2003); Se estima que para el 2005 se alcancen las 3000 has de invernaderos. La mayor superficie de invernaderos en operación se concentra en los estados de Sinaloa, Jalisco y Sonora, con un total de 1390 has, un poco mas del 40% de esta superficie destinadas al cultivo de diferentes variedades de tomates como el bola, cherry, guaje, saladette, etc. (Monelaj, 2004).

La utilización del suelo con acolchados plásticos a cielo abierto, también ha dado buenos resultados en el aumento del rendimiento de los cultivos producidos con este sistema, se ha observado también precocidad en las cosechas, mejora en el aspecto comercial y estado sanitario del producto, ayuda a mantener la estructura del suelo, reduce labores culturales como el deshierbe, ayuda a la retención del agua, y crea un ambiente favorable para el desarrollo radical (Guzmán y Sánchez, 2000). Según la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2005) menciona que en el país se utiliza casi el 15% del volumen de disponibilidad natural media del agua, sin embargo, en la parte norte es utilizado más del 40% de la disponibilidad natural media de agua, lo que es considerado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), como una fuerte presión sobre el recurso hídrico.

Las hortalizas junto con las frutas ocupan en nuestros días el segundo lugar de los productos agropecuarios, apenas aventajadas por los cereales. Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50% de la producción en el mundo: la papa y el tomate, lo cual nos indica el enorme valor que este último cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial. Moore (1994), menciona que el cultivo de las hortalizas en México es uno de los principales generadores de divisas ya que significa el 41% del total de las exportaciones agrícolas, de las cuales, el 22% son exclusivamente tomates. La producción total mexicana de tomate durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 19 millones de toneladas en promedio (SAGARPA, 2002). El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) se cultiva prácticamente en todos los estados del país, aunque en solo cinco de ellos se concentra el 57.5% de la superficie y 71.5% de la producción destacando Sinaloa como principal productor. (Muños *et al.*, 1995).

Este trabajo pretende evaluar los beneficios de dos sistemas de cultivo, cultivo en sustrato y cultivo en suelo con acolchado bajo condiciones de invernadero en función de la respuesta del crecimiento y rendimiento de la hortaliza a los estímulos producidos por dichos sistemas.

2.1 Hipótesis

Los sistemas de cultivo en sustrato y suelo con acolchado plástico, no modifican la bioproduktividad de la planta de tomate.

Los sistemas de cultivo en sustrato y suelo con acolchado plástico, modifican la bioproduktividad de las plantas de tomate en base a las diferencias que existen entre estos.

1.3 Objetivos General

- ✓ Analizar dos sistemas de producción de tomate bajo condiciones de invernadero para incrementar la bioproduktividad del cultivo de tomate.

1.2.1 Objetivos específicos

- ✓ Determinar cual sistema de cultivo contribuye con un mayor incremento en la bioproduktividad en el cultivo de tomate en base a la medición de la tasa fotosintética, al análisis de crecimiento,

rendimiento y a la integral de la radiación total incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) sobre el cultivo.

- ✓ Observar el comportamiento de la partición de biomasa en las plantas de tomate cultivadas en ambos sistemas de cultivo.

IV. REVISION DE LITERATURA

2.10 Cultivos sin suelo

El proceso de investigación fue lento y en él intervinieron de manera muy importante los alemanes Pfeffer, Sachs y Knop, quienes en 1860 reconocieron la dificultad de determinar los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas en un medio tan complejo como es el suelo, por lo que utilizaron soluciones nutritivas de composición química conocida y preparadas por ellos mismos en donde cultivaron plantas. Así se fueron precisando muchos de los elementos e incluso cantidades óptimas a utilizar.

A medida que el tiempo transcurría, este tipo de investigaciones avanzó al implementar nuevas técnicas analíticas y procedimientos de purificación de agua y compuestos químicos; inclusive se llega a descubrir que existen elementos esenciales para la vida de una planta que se requieren en pequeñísimas cantidades, de tal manera que pueden ser cubiertas por la cantidad del elemento presente en la semilla.

La primera experiencia comercial significativa corrió en Canadá con el cultivo del tomate; el sustrato utilizado fue el aserrín que se introdujo en bolsas y la práctica de riego que se utilizó fue por goteo.

Las técnicas de cultivo aplicadas a la producción vegetal han experimentado cambios rápidos y notables durante las últimas décadas. Además de estos cambios tecnológicos, se observa una sustitución gradual de los cultivos tradicionales en el suelo por el cultivo sin suelo; la principal razón es la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, sobre todo salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas.

Por otra parte, el cultivo de plantas en un sustrato permite un buen control del medio ambiente radicular, en particular de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes, lo que facilita una fuerte intensificación del cultivo. Se entiende por cultivo sin suelo aquel en el que la planta desarrolla su sistema radicular en un medio sólido o líquido y confinado a un espacio limitado y aislado, fuera del suelo.

Desde un punto de vista práctico, los cultivos sin suelo suelen clasificarse en:

- ✓ Cultivos hidropónicos: aquellos que se realizan por adición de nutrientes en agua.
- ✓ Cultivos en sustrato: se efectúan sobre materiales químicamente inactivos (Rodríguez, 1997).

Uno de los factores limitantes para la producción de cultivos sin suelo, es el agua, aun más en los sistemas que utilizan sacos de polietileno debido a que es necesario drenar el exceso de riego. Los riegos en estos sistemas de cultivo son continuos debido a que se tiene que recuperar el agua que consume la planta y mantener hidratado el sustrato para evitar déficit hídrico en la planta y

por lo tanto alteraciones en todos sus procesos fisiológicos que repercuten de manera negativa en el rendimiento.

2.10.1 Sustratos

El termino sustrato se aplica en horticultura a todo material distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado permite el anclaje del sistema radicular. El sustrato desempeña, por tanto, un papel de soporte para la planta. Puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el proceso de nutrición (Rodríguez, 1997)

La función mas importante de un sustrato de cultivo es la de proporcionar un medio ambiente “ideal” para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas. Cada sustrato requiere de su propio plan de riego y fertilización (Nuez *et al.*, 1995).

Nuez *et al.*, 1995, enlista las características de los sustratos para obtener buenos resultados en el crecimiento y desarrollo de la planta de tomate:

Propiedades físicas

- a) Elevada disponibilidad de agua fácilmente disponible.
- b) Suficiente suministro de aire.
- c) Distribución del tamaño de las partículas que mantengan las condiciones antes mencionadas.
- d) Baja densidad aparente.
- e) Elevada porosidad.
- f) Estructura estable que impida la contracción o expansión del medio.

Propiedades químicas

- a) Baja o moderada capacidad de intercambio cationico, de pendiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.
- b) Baja salinidad.
- c) Elevada capacidad de tampón y aptitud para mantener constante el pH.
- d) Mínima velocidad de descomposición.

Otras propiedades

- a) Libre de semillas de malas hiervas, nematodos y otros patógenos.
- b) Reproductibilidad y disponibilidad.
- c) Bajo costo.
- d) Fácil de mezclar.
- e) Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- f) Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

2.11 Acolchado

El acolchado, empajado o mullido, ha sido una técnica practicada desde hace muchos años por los agricultores con la finalidad de defender los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos, los cuales, entre otros efectos, producen la desecación del suelo, deterioran la calidad del fruto, enfrían la tierra y lavan la misma arrastrando los nutrientes, tan necesarios para el desarrollo vegetativo de las plantas; actualmente se sabe de muchos ensayos con diversos materiales para realizar el acolchado, siendo el de mayor uso los filmes plásticos (PVC y PE), de excelentes resultados, que han venido a desplazar los materiales de origen orgánico. El acolchado de suelo con filmes plásticos, influyen notoriamente sobre la humedad del suelo, temperatura del terreno, estructura del suelo, fertilidad de las tierras, sobre la vegetación

espontánea y sobre la protección de frutos. En resumen, el acolchado del suelo con laminas de plástico permite obtener cosechas abundantes, precocidad, frutos sanos y limpios, reducir los riegos, suprime labores culturales y reduce la mano de obra (Robledo y Martín, 1981).

Existe una amplia variedad de acolchados con diferentes propiedades espectrales y físicas, de tal manera que se pueden seleccionar materiales que incrementen o disminuyan el calentamiento del suelo. La energía residual (la reflejada por el acolchado), tiene efecto en las relaciones hídricas, temperatura, fotosíntesis y morfología en plantas recién trasplantadas, por la alteración de la radiación que se refleja en el follaje. Adicionalmente los acolchados pueden alterar la temperatura del aire cercano al follaje.

El acolchado de suelo afecta significativamente la temperatura del suelo además de otras propiedades físicas de este, influenciando el desarrollo de la raíz de los cultivos y tiene un efecto en su patrón de distribución en el suelo, el acolchado del suelo también beneficia a los cultivos debido a que conserva el agua en el suelo (Munguia, 2000).

2.12 Fertirrigación

Se entiende como la aplicación conjunta, a través del sistema de riego, del agua y los fertilizantes necesarios para el crecimiento y producción de los cultivos (Orgaz, 1991).

La fertirrigación ofrece una forma racional de aplicar fertilizantes de una manera localizada y permite adicionar nutrimentos en caso de ser necesario, tanto en cultivos sin suelo como los que se encuentran establecidos en este.

Ventajas

- ✓ Ahorro de agua.
- ✓ Concentración en el bulbo húmedo.
- ✓ Aplicación dirigida de fertilizantes.
- ✓ Fraccionamiento de los fertilizantes y por lo tanto, mayor producción y eficiencia en el uso de los mismos.

Desventajas

- ✓ Mayor inversión inicial por unidad de superficie que otros sistemas de riego.
- ✓ Requisitos administrativos mayores, ya que el retraso en las decisiones de operación pueden causar daños irreversibles al cultivo.
- ✓ El daño de roedores, insectos y humanos a tubos de goteo causa fugas y reparaciones.
- ✓ Las pequeñas aberturas del gotero se pueden taponar y requieren de filtración cuidadosa del agua y mantenimiento adecuado del equipo (Arellano, 1993).

Los abonos utilizados en la fertirrigación tienen que presentar las siguientes características:

- a) Ser muy solubles para poderse manejar y distribuir adecuadamente.
- b) No han de reaccionar entre ellos formando precipitados.
- c) Ser compatibles con los elementos presentes en el agua de riego.
- d) Han de carecer de impurezas y aditivos (ceras, arcilla, etc.) que puedan producir en los tanques de fertilización espumas o precipitados capaces de obturar las tuberías (González, 1991).

2.13 Invernadero

Se define como una estructura cubierta con materiales transparentes, de al menos de tres m³ de aire por cada m² de superficie cubierta y que permite proporcionar las condiciones optimas para el crecimiento y desarrollo de cultivos (Robledo y Martin, 1981).

El propósito fundamental de cultivar bajo invernadero algunos productos hortícola es de obtener producción fuera de temporada regular, precocidad que se cotiza en el mercado por presentarse estos productos con anterioridad a la época usual de cosecha. Además de este beneficio se derivan otros de gran interés: incremento del rendimiento y lograr productos de mejor calidad (Robledo y Martín, 1981).

El aumento de producción en invernaderos, que en algunos cultivos, tal como el pepino, superan el 400%, lo cual es consecuencia del control del medio en el que se desarrolla la planta, por otro lado si a esto se une la siembra de variedades selectas ya adecuadas para invernadero y aunado a un buen control de practicas culturales, repercute en aumento en el rendimiento (Robledo y Martín, 1981).

La técnica de protección de cultivos bajo invernaderos modifica, total o parcialmente, las variables ambientales haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos (Galvez, 1999).

Bajo condiciones de invernadero es mejor maximizar la iluminación natural con atención cuidadosa a la cubierta, al diseño y orientación optima y los cultivos dentro del mismo ya que la productividad esta fuertemente influenciada por la cantidad de luz que recibe o se transmite (Moens, 1991; Cockshull *et al* 1992., Kinet y Peet, 1997). Por cada 1% de perdida de luz en el rango de radiación fotosinteticamente activa, hay 0.5–3.1% de perdida en rendimiento (Benoit y Ceustermans, 1992; Verhoegh, 1981; Pilatti y Favaro, 1999).

Las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación (espectro de distribución o proporción de radiación difusa) afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogénicos (formación de órganos como, flores y hojas) (Baille, 1998).

Las condiciones de crecimiento dentro del invernadero no solo tienen que ser entendidas de una forma cualitativa, si no también de una forma cuantitativa para determinar su impacto sobre la producción. En este sentido el clima del invernadero puede ser cuantificado en relación a las condiciones externas y a las propiedades físicas del invernadero y su equipamiento (Bot y Van De Braak, 1995).

Para mantener una temperatura óptima en el invernadero va a depender del material de cobertura, sistema de calor o frío y las condiciones externas.

2.13.1 Materiales de Cobertura

La importancia del material de cobertura en el cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se va a construir el invernadero (Matallan y Montero, 1995).

En la actualidad existen gran variedad de tipos de materiales para el recubrimiento de invernaderos.

Vidrio o Cristal: fue el primer material utilizado como cubierta de invernaderos. La propiedad más importante es ser translúcido; se comporta de manera que asegura la cantidad necesaria de radiación. Es un buen aislante térmico y conserva por mucho tiempo sus propiedades, no se altera al efecto de los ácidos, de la humedad y es incombustible (Cerisola, 1991).

Los plásticos actualmente son los mas utilizados para las cubiertas de los invernaderos, ya que reducen el costo de inversión inicial, pero estos tienen que ser cambiados en un tiempo relativamente corto, esto dependerá de el material del que estén hechos y de las propiedades físicas y químicas que posean.

Las cubiertas plásticas que se utilicen dependerán del cultivo que se quiera establecer en el invernadero, ya que existe una gran variedad de estas y cada una posee diferentes propiedades para crear condiciones específicas en el invernadero; existen cubiertas que varían en la cantidad y calidad de luz que dejan pasar hacia el interior del invernadero, existen otras que la reflejan (Tufflite IV anticondensación, infrarojo con difusor de luz); la vida útil de una cubierta plástica es relativamente corta, y conforme avanza el tiempo la cubierta va perdiendo sus propiedades debido al intemperismo que sufre (físico y químico), aunado a esto perderá eficiencia en crear dichas condiciones que repercutirán en el cultivo de manera cualitativa y cuantitativa.

A continuación se enlistan algunos materiales de las cubiertas plásticas que se utilizan actualmente:

Plásticos rígidos

- ✓ Polimetacrilato de Metilo (PMMA) o vidrio acrílico
- ✓ Policarbonato (PC)
- ✓ Poliéster con Fibra de Vidrio (PFV)
- ✓ Cloruro de Polivinilo (PVC)

Plásticos flexibles

- ✓ Polietileno (PE)
- ✓ Copolímero Etil-Acetato de Vinilo (EVA)

2.14 Bioproductividad

La bioproduktividad puede definirse como la capacidad de un cultivo en el aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa para transformarla en materia seca.

Los factores que determinan la bioproduktividad vegetal neta (P_n) son la cantidad de radiación incidente (Q), la proporción de esa radiación que es interceptada por órganos verdes de la planta (β), la eficiencia de conversión fotosintética de radiación interceptada en biomasa (ϵ) y las pérdidas de biomasa en respiración (R) (Coombs *et al.*, 1988).

$$P_n = (Q \cdot \beta \cdot \epsilon) - R$$

2.1

Al hablar de eficiencia biológica de un cultivo estamos hablando de una relación entre la energía química potencial (MJ kg^{-1}) acumulada en la materia seca producida y la integral de la radiación solar (MJ m^{-2}) recibida durante un periodo de tiempo y puede expresarse en forma de coeficiente y porcentaje (Gosse *et al.*, 1986; Baille, 1998). El tipo de radiación que se utilice para expresar la eficiencia biológica de un cultivo puede ser global, radiación fotosintéticamente activa, interceptada o absorbida por el cultivo.

Existe una estrecha relación lineal entre la integral de radiación solar interceptada por el cultivo y la producción de materia seca acumulada. La proporción de radiación PAR_i (radiación fotosintéticamente activa interceptada) que es utilizada para la producción de materia seca, varía del 7.0 al 11.4% (Marins y Lopez, 2003).

A medida que aumenta la intensidad de la radiación, la tasa de asimilación de CO_2 va aumentando hasta alcanzar un valor a partir del cual incrementos posteriores de la intensidad de la luz no proporcionan nuevos aumentos en la tasa de fotosíntesis. Este valor varía ampliamente entre especies y es superior en las plantas C_4 que para las plantas C_3 (Ehleringer y Björkman, 1977).

Björkman (1981) menciona que cuando los valores de la radiación son bajos, la fotosíntesis es linealmente dependiente de la luz, siendo la eficiencia de su conversión máxima. En la eficiencia de la conversión de la luz a materia seca interviene el gasto respiratorio de la fotorespiración (Lawlor, 1976); otro parámetro que caracteriza la curva de la respuesta fotosíntesis-radiación es la tasa de respiración oscura. Este proceso aporta la energía necesaria a las síntesis biológicas y al mantenimiento de las estructuras celulares y se relaciona directamente con la tasa fotosintética y es dependiente de la temperatura (Goudriaan, 1982).

Las posibles variaciones que existen en la eficiencia biológica de un cultivo, están relacionadas con los cambios que ocurren en la relación fuente-demanda a lo largo del desarrollo del cultivo y con alteraciones ontogénicas que inciden sobre la tasa fotosintética neta. La máxima eficiencia de transformación se presenta en el periodo de mayor intensidad de crecimiento generativo, que es donde se presenta la mayor demanda de asimilados (Marins y Lopez, 2003).

2.15 Generalidades del Cultivo de Tomate

2.15.1 Origen del tomate

El centro primario del origen del tomate es el “genocentro sudamericano” que comprende las regiones situadas a lo largo de la cordillera de los andes. Se considera que la forma primitiva de *Lycopersicon esculentum* Mill es la variedad ceraciforme (“tomate cereza”) originario de la región del Perú-Ecuador, de donde se difundió a toda América tropical en las épocas precolombinas. La gran diversidad varietal encontrada en la zona de Veracruz-Puebla permite considerar a México como el centro de origen del tomate cultivado de fruto grande. En un comienzo de la historia del hombre, el tomate se cultivó exclusivamente como planta ornamental, y no se consideraba un alimento

normal de los indios americanos; el descubrimiento de su notable riqueza vitamínica, junto con su agradable gusto y color, popularizo rápidamente su consumo, hasta que llegó a ocupar el segundo lugar de importancia mundial entre las hortalizas. (SICA, 2005)

El tomate es una planta perenne que se puede cultivar de forma; de acuerdo al hábito de crecimiento, las variedades comerciales se pueden dividir en dos tipos de morfología: determinado e indeterminado.

Las indeterminadas son plantas que presentan inflorescencias laterales, manteniendo el brote terminal siempre vegetativo; normalmente son plantas perennes y de uso muy difundido en invernaderos. Estas plantas comparten el crecimiento vegetativo con el reproductivo y según el cultivar, el primer racimo floral aparece luego de haber diferenciado entre 7 y 12 hojas, para luego intercalar racimos florales cada tres hojas (a veces 2 o 4). Estas plantas continúan con el patrón de crecimiento en forma indeterminada (Pilatti, 1977)

Las plantas de crecimiento determinado poseen un porte arbustivo, con ramificación simpodica (al igual que las de crecimiento indeterminado), deteniendo su crecimiento con un racimo floral apical.

2.15.2 Taxonomía

Villareal (2005) la clasificación más actual y aceptada del tomate es la siguiente:

ReinoMetaphyta
División.....Magnoliophyta
Clase.....Magnoliopsida
Orden.....Solanales
Familia.....Solanaceae
Genero.....*Lycopersicon*
Especie.....*esculentum* Mill

2.15.3 Morfología

Raíz: es pivotante fibrosa, esta constituida por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias (Nuez *et al.*, 1995). Las raíces laterales como las adventicias se desarrollan horizontalmente, haciendo que el tomate tenga un sistema radical muy extenso.

Tallo: Es anguloso y recubierto en toda su extensión de pelos, la mayoría de naturaleza glandular que le confieren a la planta un olor característico. Al principio el porte del tallo es erguido, pero llega un momento en que el peso lo hace rastrear por el suelo, puede presentar un crecimiento determinado o indeterminado.

Nuez *et al.* (1995) menciona que el tallo típico tiene de 2-4 cm de diámetro en la base, Sobre la base del tallo se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpodica) e inflorescencias (infoagro, 2005).

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

Flor: la flor es autogama, regular e hipogina y consta de 5 o mas sépalos, de 5 o mas pétalos dispuestos en forma helicoidal, de un numero igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular. Se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (Nuez *et al.*, 1995). Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (infoagro, 2005).

Fruto: una baya bi o plurilocular que se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500 g, en función de la variedad y de las condiciones de desarrollo. El fruto

adulto del tomate esta constituido, básicamente, por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Nuez *et al.*, 1995).

2.15.4 Características Del Tomate Híbrido Gabriela

Crecimiento indeterminado, con hojas lobuladas de dentado medio; la flor es de color amarillo; con fruto redondeado, de color verde claro antes de la madures, posee una epidermis de color amarillo, con mesocarpio de color rojo al llegar a la madurez y con tres o cuatro locus (LARURAL, 2005)

2.16 Requerimientos Edafoclimaticos y Nutricionales

2.7.1 Suelo

El tomate esta clasificado como una hortaliza tolerante a la acidez, con valores de pH 6.8-5.0. En lo referente a la salinidad, se clasifica como medianamente tolerante, teniendo valores máximos de 6400 ppm (Valdez, 1998).

No es muy exigente en cuanto a los suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aun que prefiere suelos sueltos de textura areno-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos mezclados con arena (Infoagro, 2005).

2.7.2 Temperatura

La temperatura optima de desarrollo oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 17 °C durante la noche. (Infoagro, 2005).

Edmond *et al.* (1984), han demostrado que las variedades actuales de tomate producen los mas altos rendimientos en regiones que se caracterizan por tener una temperatura media en verano de 22.8 °C.

En el tomate, temperaturas superiores del rango de 30-35 °C en inferiores en el rango de 12-15 °C, afectan la fructificación y al desarrollo de la planta en general (Infoagro, 2005).

Las temperatura que se presentan en la temporada primavera y verano, ocasionan a las plantas disturbios fisiológicos que causan una disminución en la calidad y cantidad del producto cosechado (Quiroga, 1992).

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura. A menudo un cambio de pocos grados da lugar a un cambio significativo de la tasa de crecimiento. Cada especie o variedad posee, en cualquier estado determinado de su ciclo de vida y en cualquier conjunto de condiciones de estudio, una temperatura mínima, debajo del la cual no crece, una temperatura optima (o rango de temperatura) en el crece con una tasa máxima y una temperatura máxima por encima de la cual no crecerá y con la que incluso puede morir. La fotosíntesis también es afectada por la temperatura, aunque el intervalo de temperatura, en el que las planta pueden fotosintetizar es de una amplitud sorprendente. En muchas plantas expuestas a la luz intensa en un caluroso día de verano, la temperatura de las hojas muchas veces alcanza los 35 °C o mas, y la fotosíntesis aun continua (Salisbury y Ross, 1994).

El crecimiento y desarrollo de los cultivos, esta influenciado por el clima, donde los procesos de fotosíntesis, respiración, división celular, expansión celular, toma de nutrientes y agua, se ven modificados, principalmente por la temperatura (°C), déficit de presión de vapor (kPpa), luz ($W\ m^{-2}\ seg^{-1}$) y CO_2 (μmol). El metabolismo de las plantas y la tasa de reacciones metabólicas, se ven afectados por la temperatura, llegando a duplicarse la tasa de crecimiento

para muchos cultivos expuestos al frío, al incrementar la temperatura 10 °C (Day y Bailey, 1998).

2.7.3 Luz

Tomando de referencia a Cerisola (1991), podemos definir la intensidad luminosa optima para el cultivo de tomate, la cual se encuentra entre 200 W m⁻² para temperaturas de 20°C y 500 W m⁻² para temperaturas de 30 °C; lo anterior en base a una correlación con la intensidad de luz y la temperatura.

La respuesta de las plantas a la luz depende de la cantidad o intensidad de la luz, del tipo o calidad de la luz y de la duración diaria de los periodos de luz o fotoperíodos. La respuesta de las plantas al fotoperíodo generalmente se advierte en su poder vegetativo o reproductivo de la planta (Ervin, 1993).

Al elevar y modificar la cantidad, calidad, dirección y duración de la luz, se puede optimizar y controlar los complejos procesos de desarrollo para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola (Espí et al., 1997).

Los procesos ecológicamente significativos, en los que hay respuesta o control por la señalización de la luz, son la fotomorfogénesis y establecimiento de plántulas, percepción de proximidad y evitación de sombra, aclimatación fotosintética a sombra vegetativa y alta radiación, respuestas trópicas, desarrollo de cloroplastos, crecimiento de tallos, pigmentación, apertura estomatica, inducción floral y tasa de floración, senescencia, inducción de dormancia de yemas y tuberización (Smith, 1982).

La luz es la que provee de energía a la planta para realizar la fotosíntesis, dentro de el espectro de luz, las plantas utilizan las longitudes de onda de 0.4 y 0.7 μ m, este fragmento de longitudes de onda es conocida como la RFA (Radiación Fotosintéticamente Activa). No se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad (Infoagro, 2005).

Valores reducidos de iluminación pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta de tomate (Guzmán, 2000).

272.4 Humedad Relativa y Disponibilidad de Agua

La humedad relativa optima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades en el vástago, el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación (Infoagro, 2005).

El tomate necesita un ciclo normal del cultivo, de unos 50 cm de lamina de riego, pero se ha demostrado que tiene una buena adaptación a la sequía aunque esto reduce notablemente la producción (Hernández, 2000).

La absorción y traslocación dependen totalmente del agua para el movimiento de las materias primas hacia el interior de la raíz y para su distribución dentro de la planta. La fotosíntesis no podría realizarse sin cantidades considerables de agua, debido a que es la materia prima para la elaboración de las sustancias alimenticias por la planta (Ervin, 1993).

En los periodos de crecimiento activo, basta que las plantas no absorban agua durante un día para producir una disminución en el crecimiento futuro que puede llegar a ser fatal. El agua es uno de los reactantes de la fotosíntesis, mas sin embargo una planta de maíz utiliza un 1% del total que consume en la etapa de crecimiento. Basta privar con la cantidad de agua suficiente a la planta para que la tasa fotosintética empiece a caer (Blak, 1975).

El consumo de agua varia según el estadio fonológico de la planta y las condiciones ambientales existente. Las variaciones ocasionadas por el primero son lentas y continuas, mientras los cambien en los factores ambientales (luz, temperatura, humedad relativa, etc.) pueden ocasionar bruscas alteraciones en muy poco tiempo (López, 1991).

2.17 CO₂ y Fotosíntesis

Uno de los factores determinantes de la producción de los cultivos protegidos es la concentración de CO₂ en la atmósfera del invernadero. La concentración atmosférica de anhídrido carbónico esta por debajo de la optima para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos hortícolas. Algunos autores manejan una concentración de 700-900 μmol de CO₂ para alcanzar rendimientos productivos superiores.

El cultivo bajo invernadero se desarrolla bajo un ambiente semicerrado, en la cual la concentración de CO₂ es fluctuante; incluso puede pensarse que la concentración en el interior es menos que en el exterior. Un invernadero que cuenta con sistemas de enfriamiento forzado, es mas eficiente en el intercambio de CO₂ que uno que realiza el enfriamiento de forma pasiva, y aun mas si cuenta con mallas antiplagas.

El valor de la eficiencia biológica es función del balance neto de CO₂ (fotosíntesis neta), que es la diferencia entre el CO₂ fijado (fotosíntesis bruta) y

las pérdidas por respiración (González, 1991). Este balance depende de la especie, de la interacción con el medio y la respiración (Marins y Lopez, 2003).

La apertura estomática está en función de muchos factores como la presión de turgencia de la hoja, humedad relativa del aire, temperatura de la hoja, nivel de iluminación y concentración de CO₂ dentro y fuera de la hoja, esta apertura estomática determinará en gran parte la resistencia a la difusión de los gases.

La fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la bioproductividad es la energía solar. Las plantas interceptan la energía solar para la fotosíntesis, pero normalmente emplean menos del 5% en este proceso. El resto de esta energía calienta la planta y a los organismos y ambiente circundante, de manera que también esta energía determina la temperatura a la que están ocurriendo los procesos fisiológicos. La radiación influye a lo que se le ha llamado fotomorfogénesis (Coombs *et al*, 1988).

Heath (1970) menciona que la fotosíntesis es controlada por un gran número de factores y los clasifica como sigue:

a) Factores ambientales

- ✓ Luz: intensidad ($W\ m^{-2}\ seg^{-1}$) y calidad (longitud de onda)
- ✓ Temperatura ($^{\circ}C$)
- ✓ Concentración de CO₂ (μmol)
- ✓ Velocidad del viento ($m\ s^{-1}$)
- ✓ Disponibilidad de agua
- ✓ Disponibilidad de nutrientes

b) Factores de la planta

- ✓ Edad
- ✓ Contenido de clorofila
- ✓ Enzimas

- ✓ Contenido de agua en la hoja
- ✓ Estructura de la hoja
- ✓ Apertura estomatica

La planta de tomate es considerada como una planta C₃, desde el punto de vista del proceso fotosintético, debido que presenta fotorrespiración. La fotosíntesis en las plantas C₃ es inhibida por las altas concentraciones de O₂, a esto se le conoce como efecto Warburg. (Salisbury y Ross, 1994).

El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera del invernadero reduce el efecto de inhibición que ejerce la concentración de O₂ sobre la tasa fotosintética debido a la fotorrespiración (Heij y Uffelen, 1984).

El aumento en la tasa fotosintética favorece la respiración y como consecuencia el aumento en la producción de biomasa (Salisbury y Rosse, 1994., Marins y López, 2003).

2.18 Componentes del Análisis del Crecimiento Clásico

2.18.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

Esta se define en cualquier instante de tiempo (t) como el incremento del material presente y es el único componente del análisis de crecimiento que no requiere el conocimiento del tamaño del sistema asimilatorio.

Por lo tanto, la tasa de crecimiento relativo es la pendiente instantánea de la curva del peso seco de la biomasa (W) con relación al tiempo.

Entonces tenemos que:

$$TCR = \frac{(\ln Y_2 - \ln Y_1)}{(t_2 - t_1)} \quad 2.2$$

Donde:

TCR = tasa de crecimiento relativo expresado en ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Y_2 = variable de respuesta en el tiempo dos, generalmente peso seco de la planta o alguno de sus órganos en gramos (g).

Y_1 = variable de respuesta en el tiempo uno, expresada en gramos (g).

t_2 = tiempo dos expresado en días después del transplante.

t_1 = tiempo uno expresado en días después del transplante.

2.18.2 Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Se define como el incremento de material vegetal por unidad de material asimilatorio por unidad de tiempo.

Entonces tenemos que:
$$TAN = \frac{(Y_2 - Y_1)}{t_2 - t_1} \times \frac{(\ln Z_2 - \ln Z_1)}{Z_2 - Z_1} \quad 2.3$$

Donde:

TAN = tasa de asimilación neta expresada en ($\text{g m}^2 \text{ día}^{-1}$).

Y_2 = peso seco del vástago en el tiempo dos expresado en gramos (g).

Y_1 = peso seco del vástago en el tiempo uno expresado en gramos (g).

Z_2 = área foliar en el tiempo dos expresada en metro cuadrado (m^2).

Z_1 = área foliar en el tiempo uno expresada en metro cuadrado (m^2).

t_2 = tiempo dos expresado en días después del transplante (DDT).

t_1 = tiempo uno expresado en días después del transplante (DDT).

2.18.3 Razón de Área Foliar (RAF)

Es la razón del material asimilatorio por unidad de material vegetal presente.

Entonces tenemos que:
$$RAF = \frac{(Z)}{Y} \quad 2.4$$

Donde:

RAF = razón de área foliar expresada en metro cuadrado por gramo ($m^2 g^{-1}$).

Y = peso seco del vástago expresado en gramos (g).

Z = área foliar expresada en gramos metros cuadrados (m^2).

En consecuencia, la tasa de crecimiento relativo tiene dos componentes que miden la eficiencia de la planta o cultivo como productor de materia seca, y son la tasa de asimilación neta y la razón de área foliar.

2.18.4 Razón de Peso Foliar (RPF)

Esta define la densidad de la hoja.

Entonces tenemos que:
$$RPF = \frac{(Z)}{Y} \quad 2.5$$

Donde:

RPF = razón de peso foliar expresada en gramo por gramo ($g g^{-1}$).

Y = peso seco del vástago expresado en gramos (g).

Z = peso seco del área foliar expresada en gramos (g).

2.18.5 Área Foliar Especifica (AFE)

Da la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco.

Entonces tenemos que:
$$AFE = \frac{(Z)}{Y} \quad 2.6$$

Donde:

AFE = área foliar específica expresada en metros cuadrados por gramo ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$).

Y = peso seco de las hojas expresado en gramos (g).

Z = área foliar expresada metros cuadrados (m^2).

2.9.6 Índice de eficiencia de crecimiento del fruto (IECFr)

Expresa la acumulación de biomasa en el componente fruto, con respecto a área foliar presente a través del tiempo.

Entonces tenemos que:

$$IECFr = \frac{(Y_2 - Y_1)}{t_2 - t_1} \times \frac{(\ln Z_2 - \ln Z_1)}{Z_2 - Z_1} \quad 2.7$$

Donde:

IECFr = índice de eficiencia de crecimiento del fruto expresado en $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$.

Y_2 = peso seco del componente fruto en el tiempo dos expresado en gramos (g).

Y_1 = peso seco del componente fruto en el tiempo uno expresado en gramos (g).

Z_2 = área foliar en el tiempo dos expresada en metro cuadrado (m^2).

Z_1 = área foliar en el tiempo uno expresada en metro cuadrado (m^2).

t_2 = tiempo dos expresado en días después del transplante (DDT).

t_1 = tiempo uno expresado en días después del transplante (DDT).

2.9.8 Coeficientes de partición de biomasa

Los coeficientes de partición de biomasa son la razón de una parte de la planta entre el total de la misma, la ecuación para el cálculo de este parámetro es el siguiente:

$$CPB = \frac{(w_i)}{W}$$

Entonces tenemos que:

2.8

Donde:

CPB = coeficiente de partición de biomasa expresada en fracción.

w_i = peso seco del componente expresado en gramos (g).

W = peso seco del vástago expresado en gramos (g).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2 Descripción del Sitio Experimental

3.1.1 Localización

El presente trabajo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano del 2005, en un invernadero tipo doble capilla del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas geográficas: 25° 27' de latitud Norte,

101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1610 msnm.

3.1.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1973) el clima de Saltillo corresponde aun seco estepario, con fórmula climática BSoK (x') (e').

Donde:

BSo: Es el clima más seco de los BS.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18°C.

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

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

En general la temperatura y precipitación pluvial media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre Julio y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.2 Material vegetativo

Se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera, es de madurez tardía, de vida prolongada apta para producción en invernadero y recomendada para cultivarse durante los ciclos de otoño, invierno y primavera temprana.

3.3 Establecimiento del experimento

3.3.1 Tamaño del invernadero

El experimento se realizó en un invernadero de doble capilla de una superficie de 1250 m², con dimensiones de 50 m de largo (Este - Oeste) y 25 m de ancho (Norte - Sur), de estructura metálica PTR de 2" con cubierta de polietileno térmico PVC "larga duración" de 188 micras de espesor (calibre 752). El invernadero cuenta con equipo de control de clima y equipo de fertirriego computarizado, al igual que una doble puerta de acceso, en donde se lleva a cabo las actividades de desinfección pertinentes antes de entrar en contacto con el cultivo.

3.3.2 Producción de Plántulas

El 17 de enero del 2005 se inicio con la desinfección de las charolas de polietileno de 200 cavidades, las cuales se llenaron con el sustrato de peat moss. El 04 de febrero de 2005 se preparó la semilla para sembrarse, se depositó la semilla en cada cavidad y se humedeció el sustrato, posteriormente se trasladaron a un invernadero donde se apilaron y fueron cubiertas con un plástico color negro para proporcionarles la temperatura adecuada, se revisaba todos los días para ver que las semillas hubieran germinado, una vez aparecida la plúmula, se retiraban y recibían dos riegos por día de dos minutos cada uno. Posteriormente los riegos fueron cambiados a cuatro de un minuto de duración cada uno, las plántulas estuvieron en estas condiciones aproximadamente 2 meses.

Los fertilizantes que se utilizaron para la producción de plántulas fueron los siguientes:

LOBI, Raizal, Superfos, Grofal.

3.3.3 Preparación del Invernadero

Antes de establecer las plántulas, el invernadero se acondiciono de la siguiente manera:

En la parte sur del invernadero, se hicieron seis camas, con un canal en el centro, dichas camas tenían un desnivel de unos 10 cm para que el drenaje de los sacos se dirigiera al canal central de desagüe. Además se procuró dejar más ancho el costado norte de cada cama para colocar los sacos (contenedores del sustrato). La distancia entre camas fue aproximadamente de 1.80 m. Las camas se acolcharon con un plástico de color blanco, haciendo que el plástico tomara la forma del diseño de la cama para no tener problemas con la distribución del drenaje.

Posteriormente los tacos fueron colocados, los cuales eran de plástico color blanco, de calibre 400, de aproximada mente 90 cm de largo y 40 cm de ancho, en cada taco fueron colocadas 6 plantas; cada cama contenía un total de 40 sacos.

Cada taco constaba con 6 goteros tipo estaca, unidos por tubin y un distribuidor, el cual estaba unido a la manguera de riego por un gotero de cuatro litros.

El sustrato utilizado fue perlita mineral expandida de la marca comercial multiperl; los riegos empezaban a las ocho de la mañana con frecuencia de 30 minutos por 4 minutos de duración, esta frecuencia se manejo hasta los 30 días después del transplante, posteriormente se cambio a cada 15 minutos con la misma duración, el volumen de agua que se aplico diariamente a este sistema de cultivo fue de 2.112 m³ diarios, durante el periodo de reproducción de la planta; la densidad de plantación en esta parte del invernadero fue de 3.07 plantas por m².

En la parte norte del invernadero se hicieron seis camas “normales”, las cueles fueron acolchadas de igual manera con plástico blanco, en cada cama fueron colocadas aproximadamente 240 plantas. En cada cama antes de ser acolchada se colocó una cintilla de riego en el centro, los riegos fueron de dos horas de duración por tres días a la semana, el volumen de agua que se aplico por día a este sistema de cultivo fue de 1.184 m³; la densidad de plantación para esta parte del invernadero fue de 3.05 plantas por m².

El comportamiento de las temperaturas dentro del invernadero durante el periodo de evaluación fueron las siguientes: media máxima 30.34 °C, media mínima 14.47 °C y media 21.95 °C.

3.3.4 Transplante

El transplante se llevó acabo el día 27 de abril del 2005; para el caso del transplante en suelo, los agujeros donde seria depositada la plántula, fueron desinfectados con pentacloronitrobenceno (PCNB), a una dosis de 350 ml/500 m², esto con el fin de evitar la proliferación de hongos y otros patógenos.

3.3.5 Fertilización

La solución nutritiva se hizo de acuerdo a la siguiente fórmula de fertilización:

Cuadro 3.1. Aportación proporcional de nutrientes para el cultivo de tomate híbrido Gabriela en condiciones de invernadero.

Periodo	N ppm (g/m³)	P₂O₅ ppm (g/m³)	K₂O ppm (g/m³)
Del trasplante al primer racimo	75-100	75-100	75-100
Del primer racimo hasta el cuajado completo del 5° racimo	120-150	72-90	180-225
Del 5° racimo al comienzo de la cosecha	150-200	90-120	225-300
Cosecha	180-200	108-120	275-300
Ultimas 8 semanas hasta el fin de la cosecha	120-150	72-90	180-225

3.5 Labores culturales

3.4.1 Tutorado

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales. Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

Esto se realizó con hilo de rafia blanca enrollado a un gancho metálico, el cual estaba suspendido en alambres de metal, y el hilo se sujetaba a la planta por un anillo plástico. Conforme la planta iba creciendo ésta se fue guiando al hilo tutor, hasta que alcanzó la altura de 240 cm aproximadamente, y se

comenzó a descolgar de manera progresiva. De esta forma la planta siempre se desarrolla hacia arriba, recibiendo el máximo de luminosidad. Esta labor se inicio desde el momento del transplante hasta el final del ciclo de cultivo, realizándolo aproximadamente cada ocho días.

3.4.2 Poda de brotes o crecimiento axilar

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó aproximadamente cada 10 días, con la aparición de los tallos laterales, tratando de que fuera lo más oportuno posible. La poda se realizó con tijeras especiales para este fin.

3.4.3 Poda de hojas

Es recomendable en las hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que iba madurando con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas. Se trató que la poda fuera lo más uniforme y equilibrada posible y que se realizara con cuidado para evitar estresar la planta.

Se realizó aproximadamente cada 15 días, sacando inmediatamente del invernadero todas aquellas hojas enfermas para evitar una posible disipación de patógenos; al igual que en la poda de brotes esta práctica se hizo con tijeras especiales.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Acumulación de materia seca

Para evaluar la acumulación de materia seca se hicieron 9 muestreos. Al momento del transplante y a cada 15 días posteriormente. Se tomaron 4 plantas

por cada sistema de cultivo, estas se cortaron donde iniciaba el tallo, y se separaron por tallo, hoja, flor y fruto; a cada planta se le midió el área foliar, con un medidor LI-COR 3100; posteriormente se introducía cada parte de la planta a bolsas de papel estraza, se marcaban y se ponían a secar por un periodo de 48 horas a 75 grados centígrados en una estufa Blu M. Electric Company, finalmente cada parte de la planta se pesaba en una balanza electrónica digital modelo AL 3000 de Denver Instrument Company.

3.5.2 Rendimiento

Para medir el rendimiento, se cosechaban los frutos en madurez comercial de los cuatro surcos centrales, se contaron y se pesaron los frutos por cada surco, para obtener el rendimiento en ton/ha.

3.5.3 Cinética de crecimiento

El análisis de crecimiento consistió en medir la tasa de acumulación de biomasa (materia seca) en el total de la planta, y para cada una de sus partes (hoja, tallo, flor y fruto), en base a las formulas que se presentan en los componentes del análisis de crecimiento clásico, analizar el comportamiento del patrón de distribución de asimilados en las diferentes partes de la planta, observar los cambios en la superficie asimilatoria (área foliar) y las posibles causas de dicho comportamiento.

3.5.4 Área foliar

La superficie asimilatoria de las plantas se midió en cm^2 con un medidor de área foliar LI-COR 3100 en cada uno de los muestreos.

3.5.5 Fotosíntesis

El 28 de junio se hizo la primera medición de la fotosíntesis, posteriormente se realizaron 2 mediciones, a cuatro plantas de cada sistema de cultivo, entre las 12 y 13 horas del día; se tomaba la tercera o cuarta hoja de la planta para realizar la medición. Se utilizó un analizador de gases infrarrojo LI-6200 Portable Photosynthesis System de LI-COR Co.

3.5.6 Radiación Total Incidente

Se colocaron cuatro sensores Quantum de LI-COR LI 190 SA en el invernadero, dos para cada sistema de cultivo, los cuales estaban por encima del follaje de las plantas de tomate, estos sensores estaban conectados a un Datalogger Campbell Scientific, Modelo LA 21X, en donde se almacenaban los datos, estos eran tomados cada 15 minutos.

3.6 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó para evaluar los resultados de este experimento fue un diseño de bloques al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de 8 unidades experimentales. Se utilizó uno de los surcos centrales para realizar los muestreos destructivos, se tomó una planta por cada repetición y los cuatro surcos centrales para evaluar el rendimiento.

Se utilizó el programa estadístico desarrollado por la Universidad Autónoma de Nuevo León para analizar los datos; para evaluar los datos que pudieran mostrar diferencia estadísticamente significativa en el análisis de varianza, se usó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3 Fotosíntesis y Resistencia Estomática

Los análisis de varianza mostraron diferencia estadística significativa para la primera y la tercera medición de la fotosíntesis. En la primera medición (60 DDT), las plantas cultivadas en sustrato fueron las que obtuvieron la tasa más alta presentando un valor de $36.12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y en acolchado $22.85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en el segundo periodo de medición (75 DDT) se mantuvo la misma tendencia, aunque hubo ausencia de significancia estadística, numéricamente las plantas presentes en sustrato mostraron una tasa fotosintética más elevada con $32.19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en cuanto las de acolchado $19.39 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La tendencia de la fotosíntesis en los primeros dos muestreos puede deberse a que en este periodo, las plantas cultivadas en sustrato presentaban una hoja mas gruesa que las cultivadas en acolchado (ver figura 4.3), en la tercera medición (105 DDT). Las plantas que presentaron mayor actividad fotosintética fueron las cultivadas en acolchado presentando $26.18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ comparadas con las cultivadas en sustrato que presentaron un valor de $17.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, posiblemente debido a que las plantas cultivadas en sustrato sufrieron un aumento en el AFE para estas fechas (se muestra la tendencia en la figura 4.3). Este

comportamiento se vio reflejado en la tasa de crecimiento relativo (TCR) ya que las plantas que presentaban mayor tasa fotosintética en los periodos muestreados, también mostraron cambios que las beneficiaron en la TCR en las mismas fechas (ver figura 4.7). Los valores de la tasa fotosintética que se obtuvieron en estas plantas, están por encima de las registradas por Vázquez (2005), que encontró valores entre ocho y diez $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en plantas de tomate de crecimiento determinado cultivadas a cielo abierto con diferentes acolchados a los 58 DDT.

Se hizo una correlación entre la tasa fotosintética y la conductancia estomática (con ambos sistemas de producción), para determinar si la asimilación de CO_2 estaba en función de la apertura del estoma. El coeficiente de relación fue importante ($R^2 = 0,9288$), el modelo de la curva que mejor se ajusto a la distribución de los puntos fue la función polinomial de segundo grado (figura 4.1).

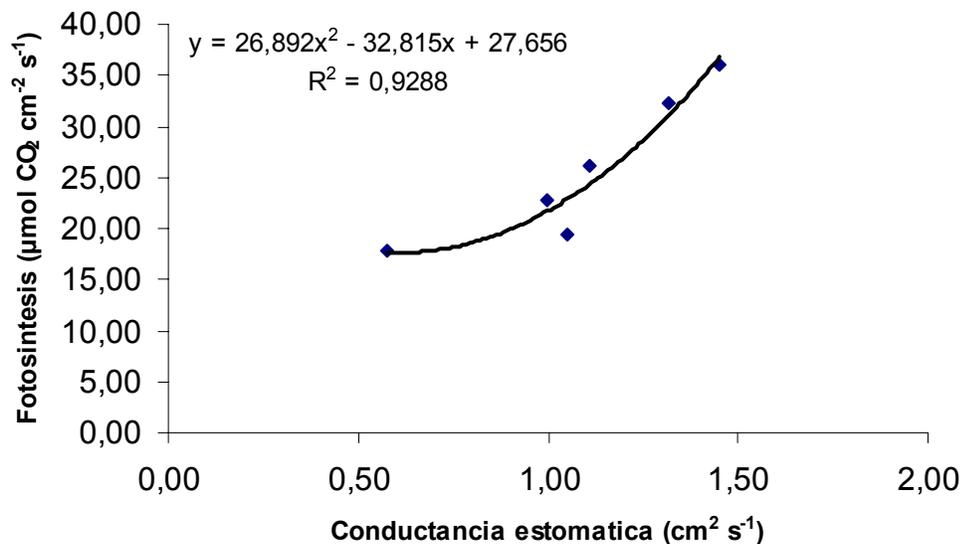


Figura 4.1 Tasa fotosintética en función de la conductancia estomática, en el cultivo de tomate en invernadero, con ecuación de tendencia y factor de determinación.

4.4 Análisis de Crecimiento

El análisis de crecimiento no mostró en general diferencias estadísticamente significativas, excepto para la tasa de asimilación neta (TAN) que para los 45 y 60 días después del trasplante (DDT), mostró una diferencia significativa favoreciendo a las plantas cultivadas en sustrato. La razón de peso foliar (RPF) se mantuvo constante para ambos sistemas de cultivo, manteniéndose por encima en las plantas cultivadas en acolchado durante el periodo de muestreo, pero sin diferencias estadísticamente significativas, el área foliar específica (AFE) fue la que afectó más a la razón de área foliar (RAF), debido a que se observaron cambios inversamente proporcionales para ambas variables, la RAF y la TAN interactuaron en los 60 DDT beneficiando a la TCR de las plantas cultivadas en sustrato, debido a que ambas presentaron valores estadísticamente significativos en el mismo periodo. La TCR se comportó de una manera similar en ambos sistemas sin presentar diferencias estadísticamente significativas.

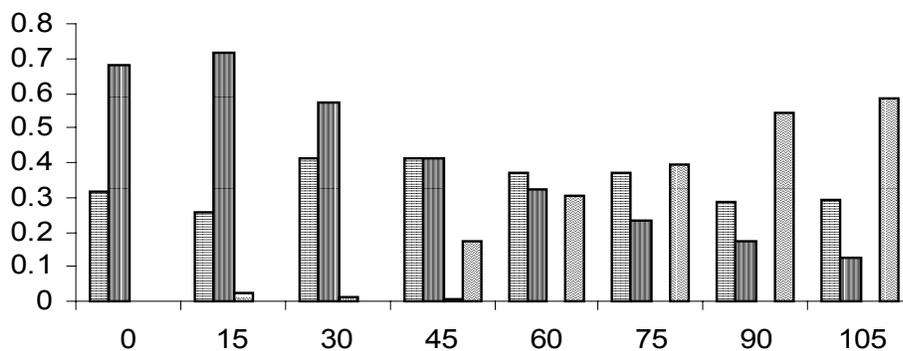
4.2.1 Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)

El patrón de distribución de la biomasa en las plantas de tomate cultivadas en distintos sistemas de producción fue similar, tampoco existió inducción de precocidad debido a que la aparición del fruto se dio en el mismo tiempo en ambos sistemas. La proporción de materia seca de la hoja con respecto a los demás órganos es superior en las primeras etapas del cultivo. Se observó una disminución en la proporción de este componente a los 15 días después del trasplante (DDT) debido a que la planta empieza a distribuir asimilados a la formación, crecimiento y desarrollo de nuevos órganos como son la flor y posteriormente el fruto. La planta mantiene para el tallo una distribución de asimilados en equilibrio a lo largo del tiempo, al igual que para la flor. Por su parte el fruto, que apareció a los 30 días después del trasplante, obtuvo el

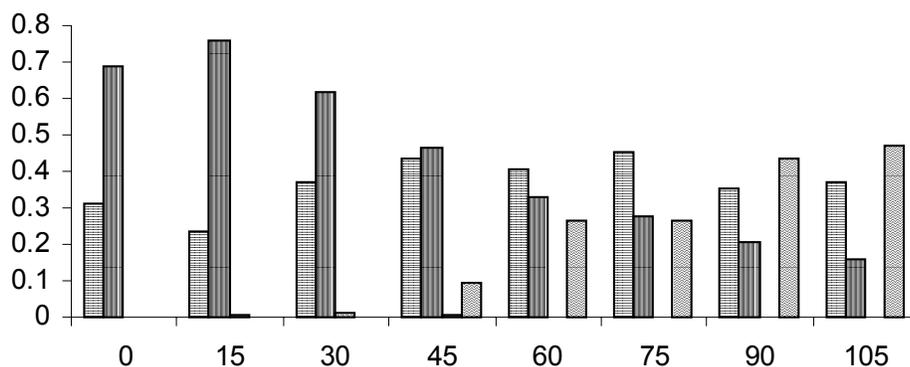
mayor CPB al final de los muestreos del cultivo. Este comportamiento fue semejante en ambos sistemas de cultivo (figura 4.2).

Las plantas que presentaron mayor participación de biomasa en la parte del fruto fueron las que se encontraron bajo el sistema de semihidroponia presentando un 58% al final de los muestreos, comparados con las del sistema de acolchado que presentaron un 46%. Entre los 60 y 75 DDT en las plantas cultivadas en suelo se presentó un incremento del 0.2% en el CPB para la parte del fruto, siendo superada por las plantas cultivadas en sustrato que presentaron un incremento del 9% en relación al muestreo anterior, aunque no se mostró ninguna diferencia estadísticamente significativa. Con relación al CPB de la hoja, las plantas cultivadas en acolchado mantuvieron valores superiores a lo largo de los muestreos en relación a las cultivadas en sustrato, siendo superadas estas últimas en un promedio de 3.8% a lo largo del monitoreo. Una conducta afín se dio para la parte de tallo, aunque no existió diferencia estadísticamente significativa para ambas partes.

Coefficientes de partición de biomasa de tomate bajo condiciones de sustrato



Coefficientes de partición de biomasa de tomate bajo condiciones de acolchado



Días Después del Transplante

Figura 4.2 Coeficientes de partición de biomasa de las plantas de tomate, cultivadas en sustrato y acolchado bajo condiciones de invernadero.

4.2.2 Área Foliar Especifica

El Área Foliar Especifica (AFE) hace mención al espesor de la hoja (m^2g^{-1}), conforme la relación disminuya el espesor de la hoja se acrecienta. En la figura 4.3 se puede observar el comportamiento del AFE de ambos sistemas de cultivo, de los 0-30 DDT se presenta una hoja mas gruesa en las plantas cultivadas en acolchado, en el periodo de monitoreo de 30-90 DDT se observa una inversión en este comportamiento, debido a una disminución en la frecuencia de riego, estos cambios influyen en la Razón de Área Foliar (RAF), alterando su comportamiento de manera que cuando la relación del AFE disminuye (la hoja se hace mas gruesa), la RAF también lo hace, esto es para el caso de las plantas cultivadas en sustrato, se encontró una correlación de 0.6802 (figura A3) en este caso. Para el caso de las plantas cultivadas en acolchado este comportamiento no parece aplicarse, posiblemente debido a que el comportamiento de el AFE se mantuvo con ausencia de oscilaciones importantes durante el periodo de los muestreos, no se encontró diferencia estadísticamente significativa, Vázquez (2005) encontró en tomate cultivado en diferentes acolchados a cielo abierto, una tendencia al engrosamiento de la hoja conforme el cultivo se hacia mas viejo. García (1987) encontró que las plantas de tomate de crecimiento determinado e indeterminado cultivadas en invernadero que son sometidas a diferentes condiciones de salinidad (0, 4 y 8 $ds\ m^{-1}$) tienden a disminuir su AFE conforme aumenta la salinidad.

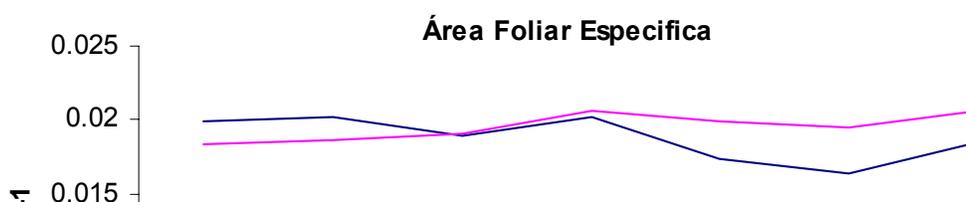


Figura 4.3 Comportamiento del área foliar específica en las plantas cultivadas en sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.2.4 Razón de Peso Foliar

La Razón de Peso Foliar (RPF) es la relación de que existe entre biomasa de la hoja (g) con respecto a la biomasa de toda la planta (g), podría decirse que es una medida de la partición de biomasa hacia la hoja del tiempo 1 al tiempo 2; el comportamiento de esta variable fue semejante en ambos sistemas de cultivo, aun que las plantas cultivadas con acolchado mantuvieron valores numéricamente mayores que las cultivadas en sustrato, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (tabla A4), la RPF (figura 4.4) esta en función del comportamiento de los demás CPB (figura 4.2), y se ve afectada por las podas que se le realizaron a las plantas.

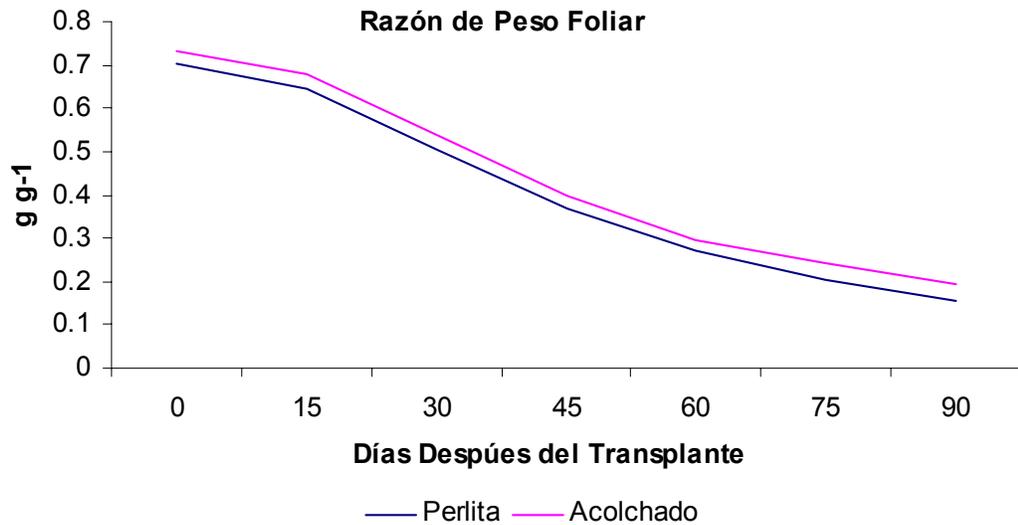


Figura 4.4 Comportamiento de la razón de peso foliar en las plantas de tomate, cultivadas en sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.2.4 Razón de Área Foliar

La Razón de Área Foliar (RAF) hace alusión a las dimensiones de superficie asimilatoria (m^2) por el peso total de la planta (g). Es el producto de la RPF por el AFE, usando la segunda definición podemos deducir que los cambios que ocurran en alguno de estos factores, afectara directamente a la RAF, en este caso la RPF no causo variaciones en la RAF debido a un comportamiento sin fluctuaciones marcadas durante el periodo de evaluación. El AFE fue la que mas causó variabilidad debido a que se observa oscilaciones importantes en RAF en los mismos periodos que el AFE para el caso de las plantas cultivadas en sustrato.

Existieron diferencias estadísticamente significativas en los 60-75 DDT (tabla A4), esto se debió a que en ese periodo las plantas cultivadas en sustrato presentaron una disminución en la relación del AFE. Se observó una interacción en los 60 DDT entre razón de área foliar (RAF) y Tasa de Asimilación Neta (TAN) debido a que ambos presentaron cambios estadísticamente significativos

en el mismo periodo, lo cual se vio reflejado en un aumento en la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), favoreciendo a las plantas cultivadas en sustrato, la TAN también presentó diferencias estadísticamente significativas en los 45 DDT, pero la RAF no, por lo que se pierden las diferencias estadísticas al multiplicar la RAF con la TAN. Las plantas que obtuvieron mayor RAF fueron las cultivadas en acolchado con valores de $36.17 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ y las planta cultivadas en sustrato obtuvieron valores de $25.95 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (figura 4.4); Se observa una relación entre el AFE y la TCR, ya que cuando se presenta una hoja mas gruesa, la TCR es mayor y viceversa (figuras 4.3 y 4.7), esto significa que existe mayor eficiencia en la producción de biomasa, no necesariamente se relaciona con el rendimiento.

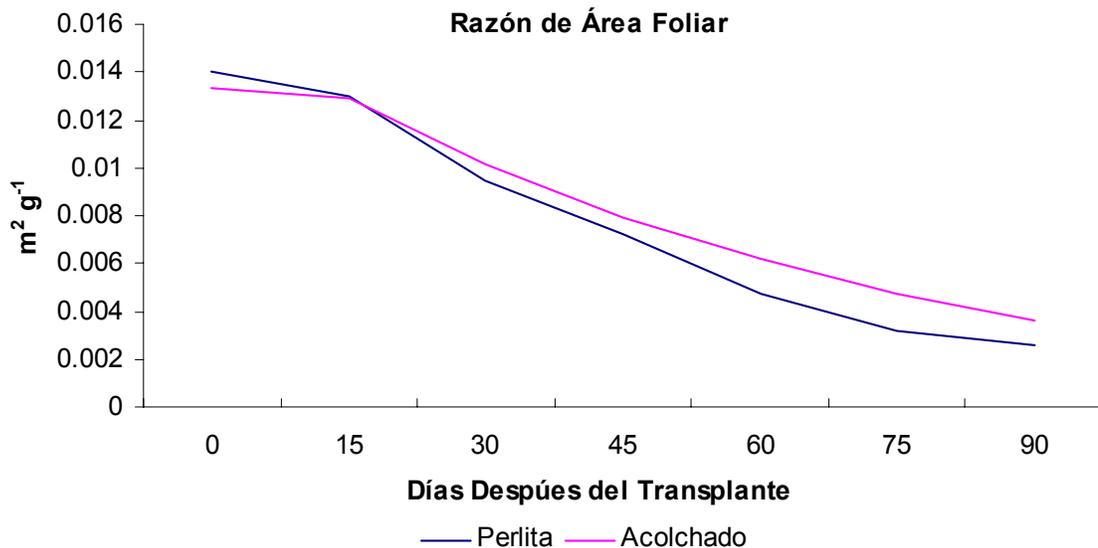


Figura 4.5 Comportamiento de la razón de área foliar en las plantas de tomate, cultivadas en sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.3.5 Tasa de Asimilación Neta

Esta variable representa la ganancia de biomasa (g) con respecto a la superficie asimilatoria (m^2) por unidad de tiempo (día). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas únicamente en los 45-60 DDT (tabla A5), las plantas que mayor biomasa acumularon por unidad de área fueron las cultivadas en sustrato, manteniendo la diferencia promedio de $1 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

durante el tiempo de evaluación. Al inicio de los muestreos se observan TAN elevadas ya que el peso de la planta es menor y se tiene una extensa área foliar con relación al peso, posteriormente tienden a disminuirse y equilibrarse debido a la relación de mayor peso, y una superficie asimilatoria constante a través del tiempo, además de que las plantas van envejeciendo y la TAN se hace menos eficiente. Las diferencias estadísticas se reflejaron en la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) solo a los 60 DDT, esto es debido a que la TCR también depende de la RAF y esta última también presenta valores estadísticamente significativos en los 60 DDT favoreciendo a las plantas cultivadas en sustrato (figura 4.6). En el cuarto y quinto periodo (60-75 DDT) de evaluación donde se presentaron las diferencias estadísticamente significativas, las plantas que más biomasa acumularon fueron las cultivadas en perlita, las cuales presentaron una acumulación de $6.4 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en promedio para estos periodos.

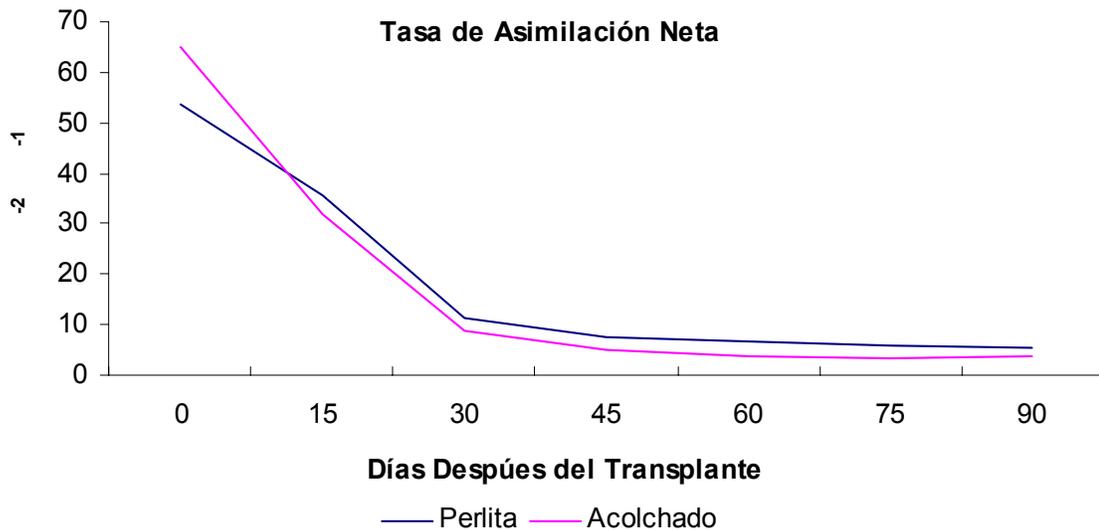


Figura 4.6 Comportamiento de la tasa de asimilación neta en las plantas de tomate, cultivadas sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.3.6 Tasa de Crecimiento Relativo

No existió diferencia estadísticamente significativa (cuadro A4) en la velocidad de crecimiento para las plantas de tomate (figura 4.7) en los diferentes sistemas de cultivo, ni para ninguna de sus partes (tallo, hoja, flor y

fruto, cuadro A3), sin embargo se puede observar una alteración numéricamente importante en la TCR para el fruto en el quinto periodo de evaluación (60 DDT), donde las plantas que presentaron mayor participación de biomasa a este componente fueron las cultivadas en sustrato que presentaron un valor de $0.064 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ superando casi por el doble a las cultivadas en acolchado (cuadro A3).

La TCR mas alta se observa al inicio del cultivo (0-15 DDT), esto es debido a que la biomasa que se acumula es comparable con la que se encuentra presente, conforme la planta va aumentando en biomasa. La TCR disminuye debido a que la relación de biomasa acumulada por biomasa presente disminuye, esto significa que la planta se va haciendo menos eficiente para acumular biomasa a medida que pasa el tiempo y envejece. Sin embargo, se puede notar que al inicio y hasta los 45 DDT, las plantas de acolchado acumulan mas biomasa pero a partir de este periodo se revierte el proceso, presentando mayor producción de biomasa las plantas en el cultivo de sustrato, este comportamiento parece estar ligado a una relación inversa con el AFE, entre mas gruesa la hoja, mayor biomasa se produce, parece estar relacionado con la tasa fotosintética de acuerdo a los resultados obtenidos (cuadro A5), ya que las tasas fotosintéticas mas altas se presentan en hojas gruesas.

Aparentemente las diferencias como sistema de riego y, suelo y sustrato, no afectan de una manera importante la TCR en las plantas de tomate, ni a ninguno de sus componentes, esto puede ser debido a que los componentes que mas influyen el crecimiento y desarrollo de las plantas son los que se encuentran formando el microclima del invernadero.

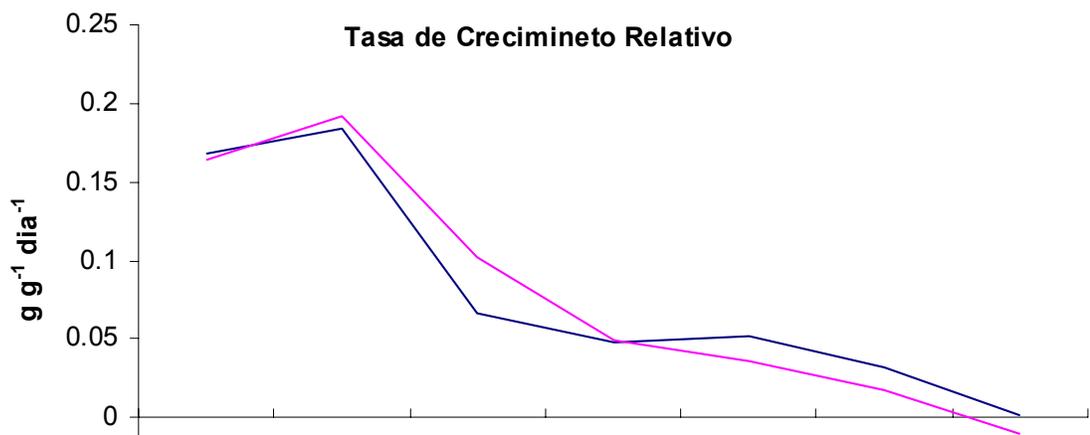


Figura 4.7 Comportamiento de la tasa de crecimiento relativo en las plantas de tomate, cultivadas en sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.2.7 Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable (tabla A4). Numéricamente las plantas cultivadas en sustrato mostraron un índice mayor de eficiencia de crecimiento del fruto (figura 4.8), marcando una dominancia promedio de $1.408 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a lo largo del monitoreo; a los 75 DDT se observa una diferencia numéricamente importante en el IECFr, la cual se ve reflejada en el rendimiento (tabla A1, corte 3). El comportamiento de esta variable depende de la relación fuente-demanda; las plantas que mayor número de frutos obtuvieron fueron las cultivadas en sustrato (ver cuadro A1), esto quiere decir que tuvieron una mayor demanda para esta variable, por lo tanto obtuvieron un IECFr mayor, también existe una relación con la TAN.

Tomando los dos últimos valores de la TAN e IECFr se encontró una correlación de 1 entre la TAN y el IECFr (figura A1).

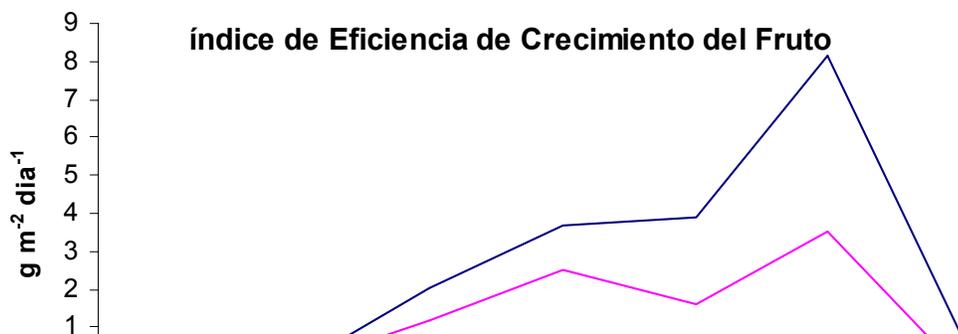


Figura 4.8 Comportamiento del índice de eficiencia de crecimiento del fruto en las plantas de tomate, cultivadas en sustrato y acolchado durante el periodo de evaluación.

4.3 Rendimiento

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el rendimiento total (ton/ha) durante el periodo de evaluación (16 cortes), sin embargo se encontraron diferencia estadísticamente significativas en los cortes 6, 7, 8, 10 y 12 (cuadro A1).

Las plantas que más producción total (ton/ha) obtuvieron al final del periodo de evaluación fueron las cultivadas en acolchado, presentando un rendimiento total de 90.97 ton/ha, las plantas cultivadas en sustrato obtuvieron 82.48 ton/ha.

El IECFr no influyó de manera significativa en el rendimiento, debido a que las plantas que presentaron un mayor IECFr (ver figura 4.8) no presentaron rendimientos con la misma tendencia, ya que el IECFr no es un componente del rendimiento. Las plantas que presentaron mayor numero de frutos y no necesariamente un peso mayor de este, fueron las que presentaron rendimientos mayores, el numero de frutos presente por cosecha vario entre uno y otro sistema de cultivo (ver cuadro A1).

4.4 Bioproductividad

En la figura 4.9 se puede observar que las plantas que presentaron mejor bioproductividad, fueron las cultivadas con acolchado, ya que acumularon mayor materia seca por radiación total incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) recibida, esto posiblemente se debió a que presentaron mejores condiciones en el sistema radical (mayor espacio para desarrollarse, sin la necesidad de competir por nutrientes), que las cultivadas en sustrato, ya que estas últimas contaban con un espacio delimitado para crecer, y las plantas presentes en los sacos, tuvieron que competir por el espacio, nutrientes y agua que recibían por cada riego. Existe una diferencia entre el manejo del fertirriego en ambos sistemas de cultivo, para el caso del acolchado, existe un mayor margen de manejo debido a que el suelo funciona como un almacén de agua y nutrientes, caso contrario el sustrato, el cual se debe manejar con la mayor precisión posible debido a que se maneja en un área delimitada, la cual debe proporcionar el agua y los nutrientes suficientes a las plantas presentes, y cualquier disminución o aumento en estas proporciones, altera fuertemente los procesos fisiológicos de la planta.

Se puede observar que la pendiente de la curva de bioproductividad (figura 4.9) tiende a estabilizarse al final del periodo de evaluación, posiblemente se puede deber a la reducción en la eficiencia de la transformación de la radiación total a materia seca debido a la senescencia de la planta; Marins y López-Gálvez (1991) encontraron en plantas de pepino bajo condiciones de invernadero, que la eficiencia en el uso de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR_i) se reduce cuando el cultivo es viejo, y alcanza su máxima conversión en las etapas de mayor intensidad de crecimiento generativo (formación de órganos).

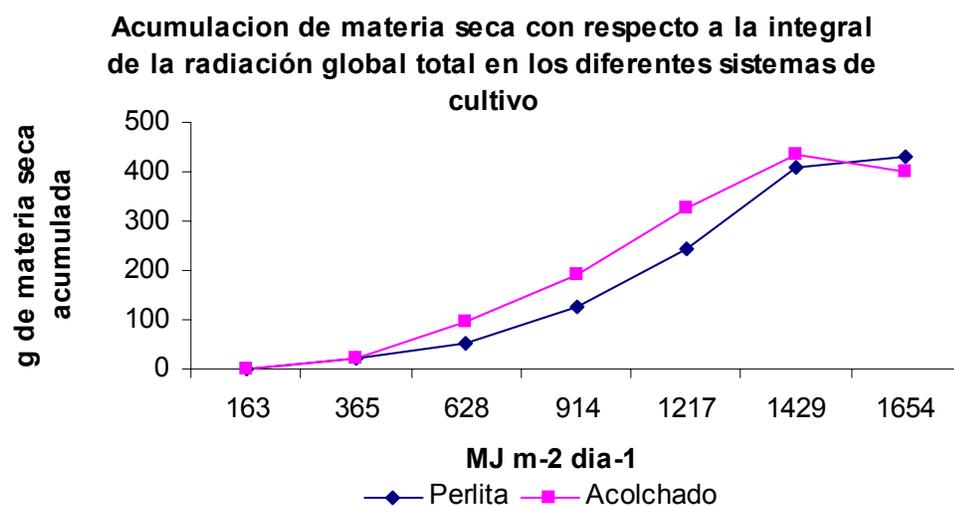


Figura 4.9 Comportamiento de la bioproduktividad de las plantas de tomate en diferentes sistemas de cultivo durante el tiempo de evaluación (15-105 DDT)

V CONCLUSIONES

El sistema de cultivo de suelo con acolchado plástico aumento la bioproductividad en las plantas de tomate y permitió un ahorro de casi 50% de agua.

Se presenta mayor actividad fotosintética en hojas gruesas debido a que estas presentan mayor numero de células fotosintéticas por área; la fotosíntesis esta estrechamente ligada con la apertura estomatica, presentando una relación lineal acotada.

Las diferencias entre los sistemas de cultivo como sistema de riego, tipo de soporte radical y su tipo de protección, no provocaron cambios significativos en la TCR total y por fracción en las plantas de tomate.

El cambio de frecuencia de riego disminuyo la el AFE en las plantas cultivadas en sustrato, debido a un aumento en la conductancia eléctrica dentro del saco (mayor salinidad).

El análisis de crecimiento que se realizó a este cultivo de crecimiento indeterminado, se vio afectado con las prácticas culturales (poda de hojas y brotes axilares) que se le practica, por lo que se recomienda marcar las plantas a muestrear al momento del transplante y, aplicar un mismo criterio de poda, para observar los cambios que puedan ser producidos por los diferentes sistemas de cultivo.

Existe una estrecha relación lineal entre la integral de la radiación total incidente en el cultivo y la acumulación de materia seca.

Las plantas cultivadas en suelo con acolchado plástico manifestaron una mejor eficiencia en la conversión de la radiación solar total incidente, debido a un sistema radical que se encontró en mejores condiciones para satisfacer la demanda de agua y nutrientes de la parte aérea, en comparación a las cultivadas en sustrato.

VI LITERATURA CITADA

Arellano G., M.A. 1993. Fertirrigación. 4º Curso Nacional de Plásticos en la Agricultura. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Saltillo, Coahuila.

Arthur, W.G., Peter J. D., Ruth L.S. 1980. The life of the green plant. Editorial Pastrick an Guy Lento. Tercera edicion. New Jersey, E.U.

Asociación Americana por los Avances de la Ciencia y la Sociedad Botánica de América. 1968. La Biología Vegetal en Nuestros Días. Edit. Herrero Hermano Sucesores, S.A. México.

Baille, A. 1998. Energy Cycle. In: Enoch Z. y Stanhill G. Ecosystem of the World. The Greenhouse Ecosystem. Elsevier, Amsterdam.

Benoit, F. and N. Ceustermans. 1992. Ecological Vegetable with Plastics. Rev. Plast. No. 95.

Bjökman, O. 1981. Responses to Different Quantum flux Densities. En: Larger O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. Physiological plant ecology I. Encyc. Plant Physiol.; New Series, v. 12A. Springer-Verlag, New York.

Blak, C.A.. 1975. Relación Suelo-Planta. Editorial Hemisferio Sur. Estados Unidos de Norte América.

- Bot, G.P.A. y Van de Braak. 1995. Physics of Greenhouse Climate. In: Greenhouse climate control.
- Cerisola, C. I. 1991. Cultivo en Invernadero 3ª edición, Ediciones Mundiprensa. España.
- Cockshull, K.E., C.J. Graves and C.R.K. Cave. 1992. The Influence of Shading on yield of Glasshouse Tomatoes. J. Hort. SCI. 67 (1).
- Comisión Nacional del Agua. 2005. Estadísticas del Agua en México: síntesis. México D.F.
- Coombs, J., D.O Hall, S.P. Long, J.M.O. Scurlock. 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioprouctividad. UNEP. COLPOS. Chapingo Edo. Mex. México.
- Day, W., and Bailey, B.J. 1998. Physical Principles of Microclimate. Modification. In: Ecosystems of the world.
- Edmon, J. E. Senn, T. L. y Andrews F. S. 1984. Principios de Horticultura. 7ª Edición, Editorial Continental, México.
- Ehleringer, J.R. and Bjökman O. 1977. Quantnm Yields for CO₂ Uptake in C3 y C4 Plants. Plant Physiol., 59.
- Ervin, L.D. 1993. Cultivo de Hortalizas, Plantas y Flores, Grupo Noriega Editores, Editorial Limusa. México.
- Espi, E.A, Slameron, C. Tamayo, M. Ortiz L. y F. Laborda. 1997. Filmes Fotoselectivos Anti plagas para Cubierta de Invernadero. Repsol, S.A. Dirección General de Tecnología. Embajadores 193. Madrid, España.

- Galvez, L.J. 1999. Producción Bajo Invernadero Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Agosto. Pp. 14-21.
- García, D.L.R. 1987. Efecto de la Salinidad y Condiciones Limitantes de Nitrógeno sobre el Crecimiento Vegetativo del Tomate. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila México.
- García, R. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koeppen para la Republica Mexicana. México pp 251.
- Gonzales, F.P. 1991. La Fertilización Mediante el Riego Localizado. 1^{er} curso Nacional sobre Agrotecnia del Cultivo en Invernaderos. Almería. España.
- Gosse, G., Varlet-Grancher C., Bonhomme R., Chartier M., Allirand J.M., Lemaire G. 1986. Production Maximale de Matière Seche et Rayonnement Solaria Intercepte par un Couvert Vegetal. Agronomie: 6(1).
- Goudriaan, J. 1982. Potential Productions Proceses. In: Simulation of Growth and Crop Production. Pudoc, Wageningen.
- Guzmán, P.M., 2000. Respuesta Fisiológica y Control Ambiental. En: Memoria del curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). pp. 21-26 Ago. Guadalajara Jal. México.
- Guzmán, P.M. y A. Sánchez. 2000. Sistemas de Explotación. En: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. INCAPA, S.C. 21-26 agosto. Guadalajara, Jal. México.

- Heath O.V.S. 1970. The Physiological Aspects of Photosynthesis. Heineman Educational Books. L.T.D. London.
- Heij, G., and J.A.M Uffelen,. 1984. Effects of CO₂ Concentration on Growth of Glasshouse Cucumber. Acta Horticulturae 162: 29-36.
- Hernández P. J. S. 2000. Las Sustancias Humicas en el Tomate. Monografía de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mexico.
- Kinet, J.M. and M.M. Peet. 1997 Tomato. In: The Physiology of Vegetable Crops. Cap. 4. Editor H.C. Wien. Editorial CAB international.
- Lawlor D.W. 1976. Water Stress Unduced Changes in Photosynthesis, Photorespiration, and CO₂ Compensation Concentration of wheat. Photosynthetica.
- Long S.P. 1982. Measurement of Photosynthesis Exchange. In: Combs, J. and D.O. Hall (Eds.). Thchniques in Bioproductivity and photosynthesis. Pergamon Press. Oxford, England.
- López G.J. 1991. La Fertirrigación. Curso Internacional Sobre "Agrotecnia del Cultivo en Invernaderos". Edit. FIAPA. España. pp. 298.
- Lopez, J.C., P. Lorenzo, N. Castilla, J. Pérez-Parra, J.L., Montero, E. Baeza, A. Anton, M.D. Fernandez, A. Baille, M.,Gonzales-Real. 1991 Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterráneo, Editorial Escobar impresiones, Almería, España.
- Marins P.R. y Lopez G.J. 2003. Eficiencia de Conversión de la Radiación Solar y Rendimiento Energético del Pepino Bajo Invernadero. Edita Programa CYTED. Almería España. pp. 215-237.

- Matallana, G.A., y Montero, C.J.I., 1995. Invernaderos, Construcción y Climatización, Ediciones Mundi-prensa, España.
- Moens, F. 1991. The Use of Surface Activite Additives as Anti-Fog Agents in Agricultural Films. In: Proc. Nat. Agric. Plastics. American Society for plasticulture. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct.
- Moore, J. 1994. Industria en Transición. 1ª Publicación. Productores de Hortalizas. México. Pp. 8-10.
- Munguia, L.J.P. 2000. Análisis de los Componentes del Balance de Energía en el Cultivo del Melón con Acolchado Plástico. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Muños, R. M. 1995. Desarrollo de Ventajas Competitivas en la Agricultura: el Caso del Tomate Rojo. Editorial La Fuente. México. pp. 20-30.
- Nuez F., R.R. Ángel., T. Javier., C. Jesús., B. Segura. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Orgaz, R.F. 1991. El Agua: Necesidad de los Cultivos y Manejo del Riego Localizado. 1^{er} Curso Internacional Sobre Agrotecnia del Cultivo en Invernadero. Almería, España.
- Pilatti, R. A. 1977. Cultivos Bajo Invernaderos. Argentina. pp. 7-8
- Pilatti, R.A. y J. Favaro C. 1999. El Cultivo del Pimiento bajo Invernadero. (en línea) disponible en <http://www.agroguias.com>
- Villareal, Q.J.A. 2005. Apuntes de la Materia Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. México.

- Quiroga, CH. O. A. 1992. Análisis de Senderos para Características Relacionadas con Resistencia a Sequía en 12 Genotipos de Maíz. Tesis de Maestría en Ciencia. Colegio de Posgraduados. Motesillo, Edo. De México. México.
- Reyes, C. P. 1980. Diseños Experimentales Aplicados. Ediciones Trillas. México.
- Rodríguez, R.R. 1997. Cultivo Moderno del Tomate. Edit. Mundi-Prensa. 2° Edición. España.
- Robledo, P.F. y V.L. Martín. 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Primera Edición, Ediciones Mundiprensa. España.
- Salisbury, B.F. y W.C. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México, D.F. pp. 759.
- Samaniego, C.E. 2001. Producción de Plántulas de Tomate y Pimiento con Cubiertas de Polietileno Reflejante para Disminuir la Temperatura en Invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
- Sandoval, V. M. 2003. Primer Simposium Regional de Producción de Cultivos en Invernadero. Universidad Autonomía de Nuevo León. México.
- Smith, H. 1982. The Effect of Multi-Layer Covering and Mulching on the Yield of Sweet Pepper Gron in Plastic Tunnels. Folia Hort. 4(1). pp. 71-82.
- Valdez, L. A. 1994. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa, Uthea Noriega Editores. México D.F.
- Valdez, L. A. 1998. Producción de Hortalizas. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México D.F. pp. 298.

Vázquez, .M.J.L. 2005. Efecto del Acolchado con Películas Foselectivas de Diferentes Características Fotométricas, Sobre el Crecimiento Y Rendimiento del Tomate. Tesis de Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Verhoegh, A.P. 1981. The Influence of Insulation Techniques on Crop Production and Profitability in the DUTCH Glasshouse Industry. Acto Hort.

Paginas de Internet Revisadas

Revista Claridades Agropecuarias. 2005. (en línea) disponible en <http://169.158.24.166/texts/pd/094/00/1/09400110.pdf>

SAGARPA. 2002 (en línea)
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

SIAP. 2005. (en línea) disponible en
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/infomer/analisis/antomat.html>

SICA. 2005. (en línea) disponible en
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20Rizzo/perfiles_productos/tomate.pdf.

LARURAL 2005. (en línea) disponible en
http://www.larural.es/servagro/sta/publicaciones/tomate/tomate%20larga%20vida/publ9612/2_2_varietal.htm

INFOAGRO 2005. (en línea) disponible en
<http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>

VII APENDICE

Índice de cuadros

Cuadro A1. Concentración de datos de rendimiento, número de fruto y peso promedio de frutos por corte.

N° Corte	Rendimiento ton ha ⁻¹		N° Frutos ha ⁻¹		Peso promedio de fruto (g)	
	Sustrato	Acolchado	Sustrato	Acolchado	Sustrato	Acolchado
1	0.70	0.28	7466.22	2331.08	93.35	121.45

2	1.72	0.51	16756.76	3986.49	102.84	127.63
3	3.74	2.07	35135.14	15472.97	106.33	133.76
4	5.26	9.61	50574.32	70270.27	103.92	136.72
5	3.99	5.83	38108.11	46486.49	104.73	125.47
6 *	8.16	3.87	69763.51	33851.35	117.00	114.27
7 *	4.85	7.43	43310.81	59628.38	111.93	124.53
8 *	3.65	6.10	40337.84	53885.14	90.57	113.22
9	3.54	4.72	45337.84	62804.05	78.18	75.10
10 *	5.10	2.93	72128.38	26351.35	70.73	111.00
11	8.94	9.21	100777.03	99729.73	88.67	92.31
12 *	2.88	8.22	46283.78	85439.19	62.12	96.22
13	5.99	6.37	71858.11	68040.54	83.34	93.60
14	7.94	8.33	75236.49	75135.14	105.54	110.86
15	5.31	7.31	48581.08	69459.46	109.28	105.21
16	10.72	8.20	98547.30	82195.95	108.78	99.79
Σ	82.48	90.97	860202.70	855067.57		
X̄					96.0820	111.3216

* = significativo (rendimiento)

Ns = no significativo (rendimiento)

Cuadro A2. Concentración de datos de los Coeficientes de Partición de Biomasa por fracción, con análisis de varianza y su grado de significancia.

Coeficientes de partición de biomasa por fracción (CPBIn)

sustrato	DDT	Tallo	Hoja	Flor	Fruto
NS	0	0.3182	0.6818	0	0
NS	15	0.2585	0.7189	0.0226	0

NS	30	0.4107	0.5753	0.0140	0
NS	45	0.4131	0.4105	0.0050	0.1715
NS	60	0.3721	0.3199	0.0026	0.3054
NS	75	0.3724	0.2306	0.0014	0.3956
NS	90	0.2843	0.1706	0.0007	0.5445
NS	105	0.2907	0.1231	0.0009	0.5853
acolchado	0	0.3125	0.6875	0	0
NS	15	0.2365	0.7601	0.0034	0
NS	30	0.3705	0.6163	0.0131	0
NS	45	0.4368	0.4645	0.0042	0.0945
NS	60	0.4037	0.3287	0.0021	0.2656
NS	75	0.4558	0.2757	0.0009	0.2676
NS	90	0.3553	0.2070	0.0008	0.4369
NS	105	0.3709	0.1586	0.0006	0.4699

NS = No significativo

Cuadro A3. Concentración de datos de las Tasas de Crecimiento Relativo por fracción, con análisis de varianza y su grado de significancia.

Tasas de Crecimiento Relativo por fracción en las plantas de tomate cultivadas en dos sistemas de cultivo

DDT	TCRt	TCRh	TCRfl	TCRfr
-----	------	------	-------	-------

Sustrato	0	0.15384	0.1688672	0	0
	15	0.2169714	0.1716273	0	0
	30	0.0599279	0.0342137	-0.009764	0
	45	0.0508557	0.0440501	0.0198068	0.0930186
	60	0.0448599	0.020453	0.0015671	0.0646599
	75	0.0175112	0.0169195	-0.015073	0.0568128
	90	0.004681	-0.01876	0.0198377	0.0080632
	Acolchado	0	0.1497577	0.1731586	0	0
15		0.2122487	0.1696344	0	0
30		0.1033411	0.0732606	0.0185345	0
45		0.0437432	0.0265671	0.0022391	0.1149137
60		0.0449301	0.0240239	-0.019533	0.0380578
75		0.0022898	-0.000229	0.0109893	0.0507038
90		-0.003219	-0.024411	-0.033294	-0.003459
Significancia al 0.05			NS	NS	NS

Cuadro A4. Concentración de datos de el análisis de crecimiento, con análisis de varianza y su significancia.

S.P.	DDT	0	15	30	45	60	75	90
------	-----	---	----	----	----	----	----	----

sustrato acolchado	TCR g/g*d	0.1675 0.1639	0.1862 0.18355	0.0542 0.0925	0.062 0.049	0.045 0.036	0.034 0.018	0.009 0.012
DMS		0.028 ns	0.0755 ns	0.1991 ns	0.2369 ns	0.1395 ns	0.1246 ns	0.1184 ns
sustrato acolchado	TAN g/m2*d	55.45 67.23	35.75 32.97	11.78 8.75	7.86 4.82	6.83 3.61	5.97 3.19	6.79 3.67
DMS		3.2316 ns	0.6143 ns	0.467 ns	0.0359 *	0.0245 *	0.0054 ns	0.0127
sustrato acolchado	RAF m2/g	0.014 0.013	0.012 0.013	0.009 0.01	0.0075 0.0079	0.0049 0.0061	0.0032 0.0048	0.0025 0.0037
DMS		0.0147 ns	0.0022 ns	0.0077 ns	2.6789 ns	0.9352 *	0.2546 *	0.3859 ns
sustrato acolchado	RPF g/g	0.69 0.72	0.64 0.68	0.5 0.54	0.37 0.39	0.27 0.3	0.19 0.24	0.14 0.18
DMS		0.0473 ns	0.0276 ns	0.0268 ns	0.5376 ns	0.5222 ns	0.3391	0.3303 ns
sustrato acolchado	AFE m2/g	0.02 0.018	0.018 0.019	0.19 0.19	0.19 0.2	0.16 0.2	0.16 0.2	0.16 0.2
DMS		0.0104 ns	0.0022 ns	0.007 ns	0.4193 ns	0.1949 ns	0.2647 ns	0.1191 ns
sustrato acolchado	IECFr g/m2*d			1.27	3.7	5.1	9.5	4.81
DMS				1.19	2.7	1.69	3.7	2.36
				0.6481 ns	1.432 ns	0.984 ns	2.2513 ns	1.312 ns

sig. 0,05

* = significativo

ns = no significativo

Cuadro A5. Análisis de varianza de medias de la actividad fotosintética y conductancia estomática en las plantas de tomate en diferentes sistemas cultivo para los tres muestreos.

	DDT	Fotosíntesis $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Conductancia Estomática $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Sustrato	64	36.12	1.45
	80	32.19	1.32
	119	17.78	0.58
Acolchado	64	22.85	1.00
	80	19.39	1.05
	119	26.18	1.11

Figura A1 Índice de eficiencia de crecimiento del fruto en función de la tasa de asimilación neta en los 75-90 DDT.

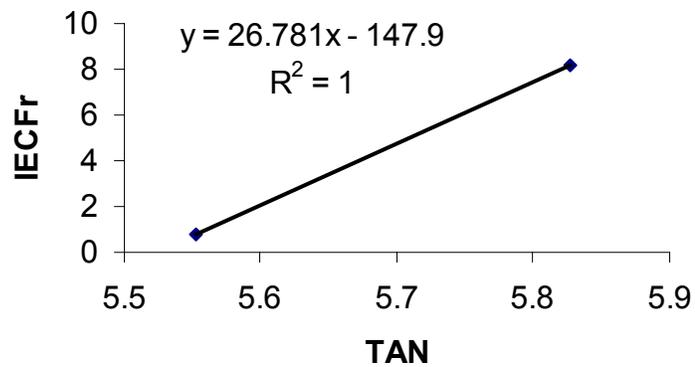


Figura A2 Correlaciones para TCR y sus componentes (TAN y RAF), en ambos sistemas de cultivo, con ecuación de tendencia y factor de correlación.

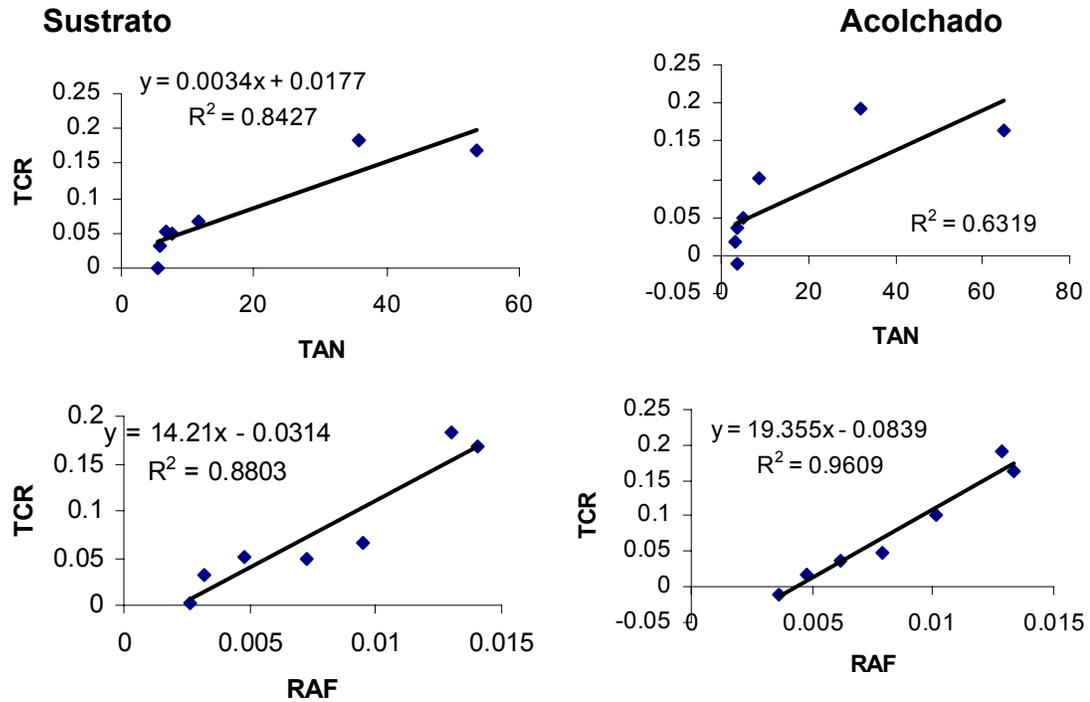


Figura A3. Correlación entre la RAF y sus componentes (RAF y RPF), en ambos sistemas de cultivo, con ecuación de tendencia y factor de correlación.

