CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

"Evaluación de dos pantallas termo-reflectoras sobre el microclima del cultivo de tomate *(Lycopersicum esculentum* Mill*)* en sistema hidropónico protegido"

TESIS

Presentada por:

FÁTIMA GRAJALES SARABIA

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México. **Diciembre de 2014.**

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: FÁTIMA GRAJALES SARABIA **FIRMA** _____

TITULO: Evaluación de dos pantallas termo-reflectoras sobre el microclima del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en sistema hidropónico protegido

ASESOR: Dr. Juan Munguía López **FIRMA:** _____

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

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

Saltillo, Coahuila, a 12 **de** Diciembre **de** 2014

Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

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

TESIS

Evaluación de dos pantallas termo-reflectoras sobre el microclima del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en sistema hidropónico protegido

Presentada por:

FÁTIMA GRAJALES SARABIA

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorada por:

Dr. Juan Munguía López

SINODALES

Dr. Marco A. Castillo Campohermoso
Presidente

Dr. Marco Antonio Arellano García
Secretario

M.C. Adolfo Baylon Palomino
Vocal

Saltillo, Coahuila **Diciembre, 2014**

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el periodo que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 12 de diciembre de 2014

FÁTIMA GRAJALES SARABIA

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi maestría, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por haberme brindado una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres C. Leticia Sarabia y Conrado Grajales por el ejemplo de perseverancia y constancia que los caracterizan, y que me han influenciado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A ti Amor por tu paciencia, apoyo y comprensión, hoy hemos logrado un triunfo mas porque los dos somos uno y mis logros son tuyos; Dios nos ha bendecido con dos años de amor, compartiendo alegrías y tristezas en este camino. Gracias Jay.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que fue otorgado durante mi periodo de preparación de grado y durante mi estancia en España.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por darme la oportunidad de realizar la maestría en sus instalaciones de posgrado en el área de Agroplasticultura.

Al Dr. Juan Munguía López, por permitirme trabajar en este proyecto que me ha dejado mucho aprendizaje, por su supervisión, evaluación y revisión de mi trabajo.

Al M.C. Jairo Vázquez Lee por la colaboración de sus buenos conocimientos y experiencia, durante el establecimiento del proyecto en campo y al Sr. Francisco Prado por su ayuda en la realización de la prácticas culturas del cultivo.

Al Dr. Marco A. Arellano García por su consejos y enseñanzas; profesionales y personales, durante toda esta etapa de mi vida. Gracias…

Al Dr. Marco Castillo y M.C. Adolfo Baylón por la revisión del documento de tesis.

A la Dra. Mª del Carmen Ruiz Sánchez, al Dr. Oussama Mounzer, Dr. Francisco Pedrero Salcedo y al M.C. Rob Sjoukes, por su ayuda incondicional en la redacción de mi trabajo y por su apoyo y amistad brindada durante mi estancia en el CEBAS-CESIC (España).

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS ..... **V**

ÍNDICE General ..... **VI**

ÍNDICES DE CUADROS ..... **VIII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VIII**

RESUMEN **0**

I. INTRODUCCIÓN **1**

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS **3**

2.1. Objetivo general **3**

2.1.1. Objetivos específicos 3

2.2. Hipótesis Ho **3**

III. REVISIÓN DE LITERATURA **4**

3.1. Importancia del cultivo de tomate en México **4**

3.1.1. Producción de tomate en invernadero 5

3.2. Generalidades del cultivo de tomate hidropónico en invernadero **6**

3.2.1. Importancia económica 6

3.2.2. Descripción botánica 7

3.3. Necesidades microclimáticas del cultivo de tomate **8**

3.3.1. Temperatura 8

3.3.2. Humedad relativa 9

3.3.3. Radiación 9

3.3.4. Déficit de presión de vapor DPV 9

3.4. Sistema de producción hidropónico **10**

3.4.1. Usos de sustratos 10

3.4.2. Tipos de sustratos 11

3.5. Pantallas termo-reflectoras **11**

3.5.1. Tipo de pantallas 12

3.5.2. Ventajas del uso de pantallas termo-reflectoras sobre cultivos hortícolas en invernadero 13

3.5.3. Efecto de pantallas termo-reflectoras sobre los factores microclimáticos del cultivo de tomate hidropónico en invernadero 13

IV. MATERIALES Y METODOS **15**
4.1. Localización del sitio experimental **15**
4.1.1. Características climatológicas 16
4.2. Materiales **17**
4.2.1. Material Vegetal 17
4.2.2. Características del invernadero 17
4.3. Métodos **19**
4.3.1. Producción de plántula 19
4.3.2. Prácticas culturales del cultivo de tomate en invernadero 20
4.3.3. Tratamientos 24
4.3.4. Control de clima y riego 25
4.3.5. Variables evaluadas 27
4.3.6. Diseño Experimental 32
V. RESULTADOS Y DISCUCIÓNES **33**
5.1. Variables microclimáticas **33**
5.1.1. Temperatura y humedad relativa, del ambiente (Ta y HR) 33
5.1.2. Radiación solar (Rs) y fotosintéticamente activa (PAR) 35
5.1.3. Energía lumínica 36
5.2. Variables fenométricas **37**
5.2.1. Longitud de tallo (LT) 38
5.2.2. Diámetro de tallo (DT) 39
5.2.3. Índice de área foliar (IAF) 40
5.2.4. Actividad fotosintética 41
5.2.5. Comportamiento de hojas y racimos de la planta 43
5.2.6. Biomasa seca de parte aérea de la planta 44
5.3. Rendimiento del cultivo de tomate **46**
5.3.1. Rendimiento fruto 46
5.3.2. Calidad de Fruto 47
5.4. Vida de anaquel de frutos de tomate (25 días de postcosecha) **49**
5.4.1. Comportamiento del peso 49
5.4.2. Firmeza de la corteza de fruto 50
5.4.3. Concentración de sólidos solubles totales (CCS) y pH del fruto de tomate 51
VI. CONCLUSIONES **53**

VII. SUGERENCIAS **53**

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS **54**

Citas de páginas Web: **59**

ÍNDICES DE CUADROS

Tabla 1. Principales estados productores de tomate en México con sus respectivos estadísticos correspondientes al año 2013. 5
Tabla 2. Análisis de agua de riego. 16
Tabla 3. Solución Nutritiva utilizada en el cultivo de Tomate en invernadero con manejo hidropónico ($mEq \cdot L^{-1}$). 21
Tabla 4. Factores involucrados en los tratamientos del trabajo experimental 25
Tabla 5. Variables fenométricas del cultivo de tomate hidropónico con medias de todo el ciclo..... 38
Tabla 6. Desarrollo vegetativo: distancia y número de racimos y hojas, del cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero en época otoño-invierno influenciado por el efecto de pantallas termo-reflectoras. 43
Tabla 7. Rendimiento y calidad de fruto de tomate con medias de todo el ciclo. 46
Tabla 8. Postcosecha de frutos de tomate en porcentaje de decremento e incremento 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas fonológicas del cultivo de tomate. 7
Figura 2. Vista panorámica del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con plano de ubicación del Campo Agrícola Experimental, Saltillo, Coahuila, México. 15
Figura 3. Hibrido Gabriela tipo bola de la casa comercial Hazera. 17
Figura 4. Hibrido Gironda tipo bola de la casa comercial Enza Zaden. 17
Figura 5. Invernadero de alta tecnología de estructura clásica a dos gabletes con ventanas cenitales tipo mariposas. 18
Figura 6. Instalación de Canaletas, contenedores y sistema de riego presurizado. 18
Figura 7. Proceso de producción de plántula de tomate de crecimiento indeterminado. 20
Figura 8. Trasplante de plántulas de tomate tipo bola a un sistema hidropónico protegido. 20
Figura 9. Plantas con sistema de tutoreo tipo holandés a un tallo en la etapa fenológica del cultivo uno. 22
Figura 10. Poda de hojas en la Planta de Tomate en la etapa de producción. 23
Figura 11. Recolección de los fruto del cultivo de Tomate Hidropónico. 24
Figura 12. Controlador de clima NMC-Pro Climate. 26
Figura 13. Accesorios del invernadero. a)Extractores de aire, b) Pared húmeda, c) Recirculadores de aire, d) Calentadores, e) Pantalla termodinámica y f) Pantalla termo-reflectora. 26
Figura 14. Sensores para medir la temperatura, humedad relativa y radiación ubicados en la parte central cada una de las pantallas termo-reflectoras en el cultivo de tomate hidropónico. 28
Figura 15. Separación de la planta de tomate para la evaluación de su crecimiento. 29
Figura 16. Equipo de Fotosíntesis (IRGA, modelo LI-6400XT, LI-COR, Lincoln Nebraska. USA). 30

Figura 17. Diferencias de los frutos de tomate, por efecto de los diferentes tratamientos estudiados. 30
Figura 18. Evaluación de la calidad de los frutos de tomate en postcosecha. 31
Figura 19. Diagrama de distribución de tratamientos en el invernadero de alta tecnología de CIQA. 32
Figura 20. Comportamiento de la temperatura (A) y humedad relativa (B) en los ambientes de cada una de las pantallas termo-reflectoras donde se estableció el cultivo de tomate hidropónico en un invernadero de alta tecnología en la época de otoño-invierno de 2013-2014. 34
Figura 21. Comportamiento de la radiación solar integrada diaria durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate. 35
Figure 22. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa instantánea por día (A.-15 de enero y B.-15 de marzo) y la radiación fotosintéticamente activa integrada diaria (C), durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate. 36
Figura 23. Comportamiento de la energía lumínica durante todo un día soleado de invierno en las diferentes pantallas termo-reflectoras. 37
Figura 24. Comportamiento de la longitud de tallo durante el ciclo de cultivo de tomate influenciadas por los tratamientos evaluados. Los valores ilustrados presentan diferencias significativas a un P≤0.05 de acuerdo al LSD. 39
Figura 25. Evolución del crecimiento del tallo (diámetro) de plantas de tomate hidropónico bajo condiciones de invernadero, durante la época de otoño-invierno. Los valores ilustrados corresponden a los tratamientos del experimento que presentaron diferencias significativas durante el periodo de muestreo, de acuerdo al LSD a P≤0.05. 40
Figura 26. Comportamiento del IAF en las plantas de tomate hidropónico durante los primeros 5 meses de establecido el cultivo. Los valores ilustrados correspondientes a los tratamientos durante la etapa de muestreos que presentan diferencias significativas a un P≤0.05 de acuerdo a una prueba de LSD. 41
Figura 27. Comportamiento de la actividad fotosintética en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero durante todo un día de invierno, A) Actividad fotosintética en la parte superior de la planta (Dosel) y B) Actividad fotosintética en la parte inferior de la planta a una altura de 1.0 m sobre el suelo. 42
Figura 28. Comparación de la evolución de la actividad fotosintética en la parte superior (T1, T2, T3, T4) e inferior (T1-I, T2-I, T3-I, T4-I) de la planta, en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero durante todo un día de invierno, influenciada por las pantallas termo-reflectoras. Los valores ilustrados fueron tomados el día 10 de febrero de 2014. 43
Figura 29. Comportamiento del desarrollo vegetativo del cultivo de tomate hidropónico en invernadero reflejado en la cantidad de hojas y racimos, y la distancia entre hojas y racimos..... 44
Figura 30. Acumulación de biomasa seca de la parte aérea de la planta durante el periodo de muestreo del ciclo de cultivo de tomate. A) Materia seca de tallo, B) Materia seca de hoja, C) Materia seca de peciolo, D) Materia seca de flor y E) Materia seca de fruto. 45
Figura 31. Rendimientos del cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero. A) Rendimientos por corte durante el ciclo de 8 meses. 47
Figura 32. Comportamiento de las variables de peso de fruto y CSS en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero, en los diferentes híbridos evaluados con el efecto de las pantallas termodinámicas. 48
Figura 33. Disminución de peso de frutos de tomate en postcosecha, establecidos a temperatura ambiente y refrigeración. 50
Figura 34. Decremento en porcentaje de la variable de firmeza de frutos de tomate 25 días después de cosecha, con los respectivos tratamientos a temperaturas de conserva y ambiente. 51
Figura 35. Incrementos totales en porcentaje de los valores de sólidos solubles y pH en frutos de tomate después de 25 días de postcosecha. 52

Evaluación de dos pantallas termo-reflectoras sobre el microclima del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en sistema hidropónico protegido.

RESUMEN

Se realizó un análisis de la fenología, fisiología, productividad, postcosecha y microclima del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), con dos híbridos (Gabriela y Gironda) que se caracterizan por ser de crecimiento indeterminado tipo bola, con una alta capacidad de producción en invernadero en el ciclo de otoño-invierno. El experimento se realizó en un invernadero de alta tecnología del Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) ubicado en Saltillo, Coahuila, México, en los meses de agosto de 2013 a marzo de 2014. El diseño del experimento fue un "Split plot" con dos factores: A).- pantallas termo-reflectoras (a_1.- Termo-dinámica más Aluminet y a_2.- Termo-dinámica) y B).- híbridos (b_1.-Gabriela y b_2.- Gironda). Teniendo un 4 tratamientos con 4 repeticiones y un total de 16 unidades experimentales. Se midió: humedad relativa, temperatura del ambiente, radiación fotosintéticamente activa, radiación total solar, longitud de tallo, índice de área foliar, actividad fotosintética, el rendimiento total, y postcosecha. De acuerdo al análisis de varianza los mejores tratamientos con relación a los dos factores fueron el tratamiento T2 (a_1b_2), y el T4 (a_2b_2), ya que estos tratamientos tuvieron los mayores rendimientos y presentaron diferencia significativa en la mayoría de las variables estudiadas. En conclusión las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre la fenología, la fisiología, el rendimiento total, postcosecha y mejoraron el microclima del cultivo de tomate bajo condiciones de hidroponía e invernadero.

Palabras clave: Fotosíntesis, Postcosecha Radiación solar, Híbridos de tomate, Termo-dinámica.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de más recursos alimenticios y de mayor calidad, ha contribuido a que los agricultores busquen nuevas tecnologías que les ayuden a producir mayor cantidad y calidad de frutos en diferentes regiones. Ya que la mayor preocupación de los productores son los riesgos meteorológicos, por lo que se incorporan a la tecnología de cultivos protegidos para disminuir dichos riegos y aumentar la rentabilidad de sus cultivos, y poder tener producciones durante todo el año. Las producciones en invernadero son principalmente de hortalizas como el tomate, que ayuda a aumentar el rendimiento, la calidad y precocidad de los frutos que es reflejado directamente en la rentabilidad del cultivo (Adlercreutz, *et al*., 2014).

Otra tecnología que se ha optado por los agricultores es el manejo de cultivos sin suelo ya que es un método más intensivo para la producción de tomate y otras hortalizas y que ha logrado reducir los factores limitantes de crecimiento vegetal (Jensen, 2001). En un sistema de producción hidropónico se utilizan sustratos o simplemente la solución nutritiva como soporte de la planta en la cual las raíces son irrigadas con solución nutritiva y esto ayuda a que los cultivos tengan altos rendimientos y alta calidad de producción por unidad de superficie de 1000% más que a campo abierto (Gonzáles, 2006).

La producción de cultivos hortícolas como el tomate en invernadero bajo manejo hidropónico han dado importantes resultados económicos para los agricultores y ha solucionado muchos problemas de manejo agronómico y microclimáticos en los ciclos de cultivo sin embargo, en la actualidad se siguen buscado tecnologías para mejorar las condiciones ambientales de los cultivos y optimizar más puntualmente algunos factores microclimáticos que afectan a los cultivos.

Es por esto que surgen las pantallas termo-reflectoras como una nueva técnica que ayuda a controlar la temperatura dentro de los invernaderos, la cual busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas temperaturas durante los períodos cálidos (Valera *et al.,* 2001), o el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001). Las pantallas termo-reflectoras además ayudan a tener un mayor control de los factores que afectan al cultivo de tomate como la temperatura, la radiación y la humedad relativa del ambiente. Las mallas utilizadas con dichos fines son de color negras, blancas y aluminadas, respectivamente. De ahí que recientemente se haya

iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008).

La elevada radiación solar y temperatura se traducen en elevadas tasas de evapotranspiración en los cultivos, limitando el suministro de agua que perciben a través de las raíces llegando a producirse quemaduras y/o marchitamientos irreversibles. El sombreo tiene como finalidad principal el reducir la temperatura de la planta y su ambiente circundante a la vez que disminuye su evapotranspiración al afectar al componente radiactivo. Las pantallas son una parte integral de la agricultura protegida, en la actualidad el país de Israel es pionero en esta tecnología, que cubre más de 5,000 hectáreas de su superficie (Möller y Assouline, 2007). Dependiendo de su material y sus propiedades, se instalan para servir a una variedad de propósitos, tales como: la exclusión de insectos (Ross y Gill, 1994), la protección contra el granizo y los vientos, la extensión del período de crecimiento y retraso de la maduración del fruto (Teitel, *et al.*, 1996), la reducción de enfriamiento radiactivo en la noche (Teitel, *et al.*, 1996) y el sombreado de supra-óptimas de radiación solar (Raveh, *et al.*, 2003).

A pesar de que cada vez es mayor el número de pantallas utilizadas en el extranjero, relativamente existe poca información disponible acerca de sus efectos sobre las condiciones microclimáticas. Algunos estudios anteriores se han dirigido a la realización de estructuras con pantalla de transferencia de calor, radiación, ventilación y temperatura, en un clima tropical (Rossel y Ferguson, 1979; Desmarais 1996 ;. Desmarais *et al.*, 1999). Sin embargo, las dimensiones de las estructuras descritas en estos estudios no corresponden con pantallas comerciales. Además, los invernaderos con pantalla estaban vacíos, por lo que los temas relacionados con la humedad del aire y la transpiración del cultivo no se abordaron.

Por tanto, es de alta prioridad conocer más del tema para expandir nuestro conocimiento sobre el microclima de los cultivos, modificados por pantallas termo-reflejantes.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Evaluar los efectos de dos pantallas termo-reflectoras en un invernadero de alta tecnología, en el desarrollo fenométrico, rendimiento, postcosecha y en los parámetros microclimáticos, del cultivo de tomate en un sistema hidropónico.

2.1.1. Objetivos específicos

- Estudiar los efectos de las pantallas termo-reflectoras en los parámetros temperatura del ambiente, humedad relativa del ambiente, radiación fotosintéticamente activa, radiación solar y energía lumínica, dentro del invernadero durante el ciclo de cultivo de tomate de ocho meses.
- Analizar los efectos de las pantallas termo-reflectoras en las variables fenométricas de la planta, así como en el rendimiento.
- Evaluar los efectos de las pantallas termo-reflectoras en la productividad de los dos híbridos de tomate (Gabriela y Gironda).
- Comparar los efectos de las pantallas termo-reflectoras sobre la actividad fotosintética de la planta de tomate.
- Determinar la calidad de postcosecha del fruto de tomate, en diferentes condiciones de ambientales.

2.2. Hipótesis Ho

Las pantallas termo-reflectoras e híbridos tendrán el mismo comportamiento generado por el microclima del invernadero de alta tecnología, sobre el cultivo de tomate, producido en un sistema hidropónico.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Importancia del cultivo de tomate en México

Los orígenes del tomate se remontan a la región andina de Suramérica desde Ecuador a Chile sin embargo, la domesticación fue llevada en México donde se le pone el nombre de “tomatl” derivado de la lengua Náhuatl que se significa tomate de ombligo y que deja sin duda al origen de nombre moderno (Cifuentes, 2009).

A nivel mundial el tomate es de suma importancia, ya que tiene una gran demanda para su consumo en fresco como para su procesamiento en industrias. En México es una de las hortalizas de mayor consumo y producción, debido a que tiene gran demanda en el extranjero, México se ha convertido un país importante en la exportación de tomate de alta calidad a nivel mundial ya que es el número uno en dicha exportación, produciendo a campo abierto y en invernadero (Cáceres, 2014).

Los principales estados productores de tomate a campo abierto son Sonora, Sinaloa, Baja California, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos y San Luis Potosí (Mondragón, 2013) (Tabla 1), y los principales en producción en invernadero son Sonora, Baja California y Michoacán (SIAP, 2012).

Tabla 1. Principales estados productores de tomate en México con sus respectivos estadísticos correspondientes al año 2013.

Entidad Federativa	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR ($/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Sinaloa	15,362.14	15,263.06	983,288.14	64.42	4,192.49	4’122,429.07
Michoacán	4,036.25	3,640.75	98,435.06	27.04	6,437.44	633,670.16
Zacatecas	2,895.72	2,872.72	143,905.20	50.09	5,084.28	731,654.91
Baja California	2,784.50	2,782.50	196,452.90	70.6	8,694.66	1’708,090.96
San Luis Potosí	2,311.85	2,310.35	141,108.25	61.08	4,925.03	694,961.95
Morelos	2,248.02	2,248.02	77,035.81	34.27	6,601.01	508,513.90
Veracruz	2,144.50	2,080.50	50,043.25	24.05	5,633.29	281,908.05
Baja California Sur	2,058.20	1,968.20	108,421.60	55.09	6,516.37	706,515.71
Jalisco	1,601.50	1,589.50	134,436.65	84.58	7,711.52	1’036,711.07
Nayarit	1,535.50	1,535.50	48,192.52	31.39	4,461.55	215,013.46
Sonora	1,335.20	1,259.20	91,856.30	72.95	5,581.67	512,711.68
México	1,323.29	1,323.29	78,342.70	59.2	7,207.11	564,624.50
Chiapas	1,147.00	1,144.00	40,019.95	34.98	6,891.71	275,806.06
Tamaulipas	1,063.00	1,025.00	31,008.00	30.25	6,781.15	210,269.83
	48,234.01	**47,099.36**	**2’694,358.19**	**57.21**	**5,584.08**	**15’045,508.72**

FUENTE: Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP):

3.1.1. Producción de tomate en invernadero

Una de las preocupaciones de los productores agrícolas son los riesgos meteorológicos que con llevan la producción sin protección alguna, por esta razón se tiene una búsqueda constante de prácticas y tecnologías para disminuir riesgos y aumentar la rentabilidad de sus producciones, por lo que se incorporan a la tecnología de cultivos protegidos con la finalidad de obtener ciclos de producción durante todo el año controlando factores agro-climáticos como la temperatura, humedad, luz entre otros. El cultivar bajo cubierta plástica de especies hortícolas como el tomate ayuda a aumentar la producción, la calidad y precocidad de frutos, que se reflejan directamente en la rentabilidad del cultivo (Adlercreutz, *et al.*, 2014).

La producción de tomate en invernadero ha logrado que lo productores Mexicanos obtengan producciones de alta calidad por lo que es una tendencia

tecnológica para los estados, ya que dicho cultivo se adapta a las condiciones climatologías del todo el país. Los principales estados que cosechan tomate de alta calidad por el desarrollo de cultivos en invernadero son: Sonora, Baja California, Michoacán, Zacatecas, Nayarit y Colima (Vázquez, 2012).

La superficie agrícola con manejo protegido en México es de 20,000 Ha donde aproximadamente 12,000 ha son de invernadero y 8,000 ha de mallas sombras y microtúneles, considerando que el 70% de las estructuras de agricultura protegidas son cultivadas con tomate (SAGARPA, 2013).

En México las tecnología de agricultura protegida varia de baja a media-alta, teniendo un 78% de superficie cultivada en sistemas agrícolas de media-alta tecnología, el 17% con tecnología media y un 5% con baja tecnología. Por lo que los rendimientos más altos obtenidos por los agricultores mexicanos son de tecnologías medias-altas que llegan hasta los 600 $t \cdot ha^{-1}$ (Ponce, 2013).

3.2. Generalidades del cultivo de tomate hidropónico en invernadero

3.2.1. Importancia económica

A nivel mundial la hortaliza más difundida y de mayor importancia económica es el tomate. Los continentes con mayor producción son Asia con 53,4%, Europa con un 16,1% y América con 18%, del total de la producción del mundo. El país número uno en producción de tomate es China con 464 mil toneladas seguido por Estados Unidos de América (166 mil toneladas), India (135 mil toneladas) y Turquía (130 mil toneladas) (FAO, 2013).

El cultivo de tomate es de importancia económica para México ya que presenta una demanda muy alta en el territorio nacional e internacional. México es el décimo productor de tomate en todo el mundo con tres millones de toneladas y siendo el tomate el tercer producto más exportado en el país lo convierte en el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas al año equivalente al 50% de la producción total (Ponce, 2013).

En el 2011 México tuvo una producción de 2’694,358.19 toneladas obtenidas de un área cosechada de 85,369.0 ha con un rendimiento promedio de 28.53 $t \cdot ha^{-1}$, (FAO, 2013).

3.2.2. Descripción botánica

El cultivo de tomate pertenece al género ***Lycopersicum*** de la familia de las *Solanáceas* y es originario de la región andina de Sur América siendo en México la ubicación de la domesticación de esta especie (*Lycopersicum esculentum* Mill), que se caracteriza por tener un crecimiento limitado en las variedades de tipo determinado y un crecimiento ilimitado en variedades de crecimiento indeterminado (Pérez, *et al.*, 2012).

El cultivo de tomate tiene varias etapas fonológicas que comprenden el crecimiento vegetativo y productivo, la primera etapa es el establecimiento de la planta donde se enfoca a desarrollar la raíz y la parte inicial aérea, la segunda es la etapa de crecimiento vegetativo la cual tiene una duración aproximada de 40-45 días, la tercera etapa corresponde a la floración y cuajado de frutos y empieza alrededor de 30-40 días después de trasplante, la cuarta etapa corresponde al cuajado de frutos que es seguida de la etapa de la floración y es donde empieza a desarrollarse y crecer el fruto, y por último la quinta etapa corresponde a la madurez fisiológica y cosecha de los frutos que se logra a partir de los 80 días después de trasplante (Figura 1). Las etapas fonológicas pueden variar en tiempo, principalmente por la características de cada variedad y de las condiciones ambientales que puedan influenciar (Tialling, 2006).

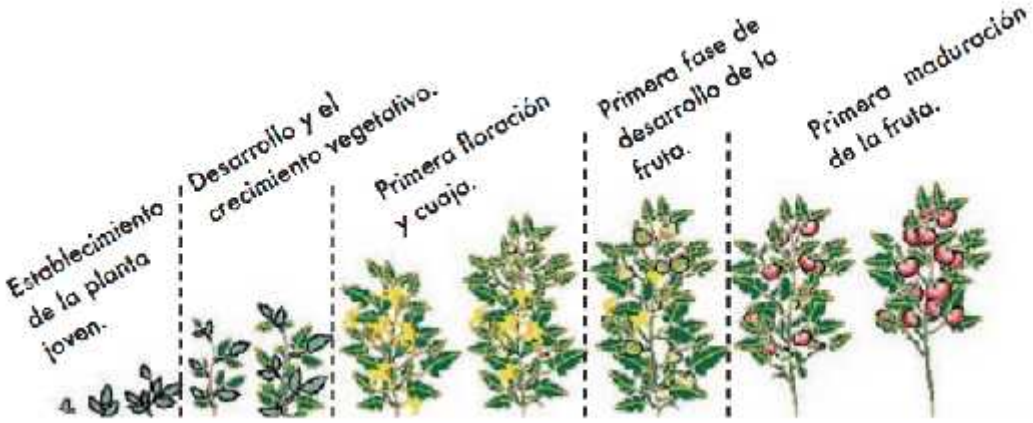

Figura 1. Etapas fonológicas del cultivo de tomate.

Es una planta arbustiva que se cultiva como anual, y puede crecer de forma rastrera, semirrecta y erecta. Sus características principales son las siguientes:

Raíces: El sistema radicular se concentra entre los primeros 30 cm de profundidad no obstante puede llegar a medir hasta dos metros, su desarrollo es con una raíz principal que se caracteriza por ser corta y débil, numerosas raíces secundarias que son muy vigorosas y raíces adventicias (Escalona, *et al.,* 2009).

Tallos: Están cubiertos de pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis, el tallo principal mide entre dos y cuatro centímetros de diámetro en promedio, en el cual se desarrollan hojas y tallos secundarios e inflorescencias. Así también tiene la propiedad de emitir raíces cuando tiene contacto con el suelo (Jaramillo, *et al.,* 2007).

Hojas: son compuestas que brotan de forma alternada sobre el tallo y contienen de siete a nueve foliolos, los cuales son peciolados, lobulados y con borde dentado y recubiertos de pelos glandulares. El tejido parenquimático está recubierto por una epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (Marín, 2001).

Flor: es perfecta consta de cinco o más sépalos y pétalos de color amarillo, tiene estambres que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve el gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo de tres a diez y se desarrollan cada tres hojas en las axilas (Escalona, *et al.,* 2009).

Frutos: son bayas de diferente tamaño, forma, color, consistencia y composición, de acuerdo a las variedad que se está cultivando. Está constituido por epidermis, pericarpio, tejido placentario y semillas (Jaramillo, *et al.,* 2007).

3.3. Necesidades microclimáticas del cultivo de tomate

El género Lycopersicum es un cultivo de estación cálida, tolerante al calor y a la sequía y sensible a las heladas. Debido a que no es tan exigente en las condiciones climáticas es cultivado en una extensa gama de condiciones climáticas, siendo así que prospera mejor en climas secos con temperaturas moderadas (Escalona, *et al.,* 2009).

3.3.1. Temperatura

El desarrollo óptimo del cultivo de tomate oscila en una temperatura entre los 20-25 ºC durante el día y 15-17 ºC durante la noche, ya que a temperatura

superiores o inferiores a estos rangos afecta el desarrollo de la planta provocando mala fecundación. Niveles superiores a 30 ºC afectan la fructificación, el desarrollo general de la planta y raíces, y por niveles inferiores a 12 ºC origina problemas en el desarrollo de la planta (Paredes, 2009).

3.3.2. Humedad relativa

El cultivo de tomate requiere de un nivel de humedad relativa ambiente (HR) de 70-80% para optimizar su desarrollo, por el contrario si los niveles se encuentran fuera de este rango pueden causar daños a la planta como por ejemplo niveles superiores puede causar enfermedades en las hojas (Pérez, *et al.*, 2012).

Humedad relativa alta provoca agrietamientos de frutos y dificultad de fecundación debido a que el polen se compacta lo que con lleva al aborte de flores, también se presenta el rajado de frutos por exceso de humedad, una humedad baja dificulta la fijación de polen al estigma de la flor (Paredes, 2009).

3.3.3. Radiación

La calidad de luz y el fotoperiodo son importantes en el crecimiento del cultivo, ya requiere de una buena iluminación que puede ser modificada por la densidad de siembra, sistemas de poda, tutorado, y prácticas culturales que optimizan la recepción de rayos solares (Pérez, *et al.*, 2012).

El tomate es sensible a niveles de luminosidad por lo que se recomienda entre 10,000-40,000 Lx (185-700 µmol m^{-2} s^{-1}) con un mínimo de seis horas diarias de luz para favorecer la floración. Si la intensidad de radiación es demasiada alta se puede producir partiduras de frutos, golpes de sol y coloración irregular de maduración (Tialling, 2006).

3.3.4. Déficit de presión de vapor DPV

Es la diferencia entre la cantidad de vapor de agua en el aire actual y la cantidad de humedad que puede contener cuando está saturado con vapor de agua esa masa de aire y funciona como un indicador de potencial de condensación al cuantificar la cantidad de aire del invernadero más cerca de un punto de saturación. El déficit de presión de vapor es una forma útil de expresar el flujo de vapor en el sistema, para la condensación y la transpiración. El alto DPV incrementa la demanda en la transpiración, influenciando cuanta humedad es transferida desde los tejidos de

las plantas hacia el aire del invernadero. En contraste, un DPV muy bajo indica la proximidad a llegar al punto de rocío, y la condensación puede perjudicar significativamente el desarrollo de los cultivos (Prenger y Ling, 2000).

Un DPV de 0.5 kPa es demasiado bajo como para causar un impacto significativo en la transpiración y a un DPV de 1.4 kPa se presenta la resistencia estomática (estomas totalmente abiertos) así que éste es el valor objetivo de DPV "promedio", mientras que un DPV de 2.0 kPa se ubica en el límite superior del rango de déficit aceptable. Si el DPV es demasiado grande, los estomas comenzaran a cerrarse en un esfuerzo de conservar agua en la hoja y como resultado la transpiración y el movimiento de agua a través de la planta se verá significativamente reducido (Jensen, y Marlow, 2010).

3.4. Sistema de producción hidropónico

La producción en invernadero con manejo de cultivos sin suelo es hoy en día el método más intensivo de producción de hortalizas, que ha remplazado la agricultura tradicional con el objetivo de reducir los factores limitantes de crecimiento vegetal, dando un soporte de cultivo alterno y aplicando técnicas de fertilización (Jensen, 2001).

La hidroponía es un sistema de producción en el que se utilizan sustratos de materia inerte y estéril o simplemente solución nutritiva, como soporte de la planta, donde se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales en solución en las raíces de las plantas. El interés por el sistema hidropónico bajo invernadero a nivel mundial obedece a los altos rendimientos y a la calidad del producto que por unidad de superficie se pueden obtener (1000% más que el cultivo en campo abierto en el cual se obtienen de 20 a 30 $t \cdot ha^{-1}$). (Gonzáles, 2006).

3.4.1. Usos de sustratos

Los sustratos son de un material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radical, desempeñando por lo tanto, un papel de soporte para la planta (Abad, *et al.*, 2005). Según Michelot (1999; citado por Masaguer y Cruz, 2007), el soporte del cultivo (suelo o sustrato) cumple cuatro funciones: a) asegura el anclaje mecánico de la planta; b) constituye la reserva hídrica de la que las raíces toman el agua para cubrir las necesidades de la planta; c) las raíces son órganos aerobios, por lo tanto, el sustrato debe proporcionar el oxígeno

que necesitan para su correcto funcionamiento y d) debe asegurar la nutrición mineral de la planta.

Al seleccionar un sustrato para desarrollar un cultivo en sistemas hidropónicos, es necesario realizar la caracterización con objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ya que de éstas depende el manejo posterior del cultivo. Abad, *et al.,* (2005) sugieren que las propiedades físicas de los sustratos son de mayor importancia porque una vez que el sustrato está en el contenedor y la planta se está desarrollando en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. En cambio, las características químicas si se pueden modificar.

3.4.2. Tipos de sustratos

Los sustratos se clasifican en dos diferentes tipos: Orgánicos; aserrín, cascarilla de arroz, fibra de coco, hojarascas, carbón vegetal, etc., e Inorgánicos; arena, grava, piedra volcánica, perlita, ladrillo molido etc., (Lacarra y García, 2011).

Perlita. Es un aluminio silicato que se fabrica a partir de rocas volcánicas vítreas, con densidades originales de 1.5 $g \cdot cm^{-3}$. En su tratamiento industrial se calienta a temperaturas de 1000 ºC durante unos minutos y se logra su expansión hasta reducir la densidad aparente a 0.12 $g \cdot cm^{-3}$ (Maroto, 1990). Este sustrato tiene un excelente drenaje, es ligero, de muy baja CIC (0.15 mEq 100 cm^{-3}), su pH es casi neutro, por lo que es un excelente sustituto de la arena, pero es mucho más ligero y de fácil manejo (Fontono, 1996).

La principal ventaja de la perlita es su capacidad para mantener una humedad muy uniforme en todo el saco de cultivo, es de fácil manejo para su bajo peso y un material inerte y sin problemas de contaminación de patógenos. Uno de los inconvenientes que tiene es que cuando accidentalmente se da un grave descenso del pH en la solución nutritiva, por debajo de cinco, puede provocar la liberación de aluminio y causar toxicidad al cultivo (Abad, *et al.,* 1993).

3.5. Pantallas termo-reflectoras

La utilización de pantallas termo-reflectoras es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en la horticultura protegida, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas temperaturas durante los períodos cálidos (Valera, 2001), o para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001). Las mallas utilizadas con dichos fines son de color negras, blancas y

aluminadas, respectivamente. Las primeras se usan más que las segundas porque cuestan menos, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro electromagnético, causando disminución de la fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera, 2001).

El termino pantallas se aplica cuando se utiliza una malla o elemento que se coloca de manera temporal sobre el cultivo, según se haga el manejo del microclima y el manejo del cultivo. Una pantalla térmica o termo-reflectora, que es extendida como elemento de cubierta sobre los cultivos, tiene como principal función un efecto térmico, cerrar el paso a la energía infrarroja y a la vez reflejar la luz sobre el mismo (Ubaque, 2001).

Las pantallas termo-reflectoras son elaboradas de poliéster con forma entre tejida con una fina capa de aluminio entretejido, con el objetivo de equilibrar la temperatura ambiente en los invernaderos y así poder tener niveles óptimos para el cultivo. El sistema aprovecha la energía solar para retener calor en los días fríos, ya que poseen un factor de trasmisión muy pequeño y un factor de reflección de lo más elevado en el infrarrojo medio (2.5- 50 µm) y lejano (50- 1000 µm) (Tesi, 1989).

3.5.1. Tipo de pantallas

Las pantallas con referencia al paso de aire pueden ser: **abiertas** (ventiladas); pueden ser clasificadas como térmicas o termo-reflectoras, de sombreo o de protección, y **cerradas** (no ventiladas); son telas formadas por láminas de aluminio y entre ellas hay filamentos de plástico trasparente, que reducen al máximo el paso de aire libre entre la parte superior, sin embargo permiten que la humedad que hay abajo, cuando llega a los filamentos, ascienda por la capilaridad y como la tela está más caliente que el agua en la parte superior, se produce evaporación con lo que el exceso de humedad pasa arriba de la planta (Varela, *et al.*, 2008).

- Pantallas térmicas o termo-reflectoras: son pantallas que constan de tira de película de poliestireno, tiras de aluminio y filamentos para la sujeción de la estructura. Las tiras de aluminio reflejan más del 90% de la radiación solar. El número de tiras de aluminio determinan la eficiencia de sombreo y la capacidad de ventilación de la pantalla ya que el aire caliente fluye a través de las bandas de aluminio (Pulido, 2012).
- Mallas de sombreo: Existen una gama de mallas de colores de sombreo con propiedades ópticas especiales las cuales modifican específicamente: el

espectro de la luz filtrado, el aumento de contenido de luz difusa y las propiedades térmicas, en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido. El termino de mallas sombras coloreadas se utiliza en sentido amplio para incluir mallas de colores al ojo del humano (azul, amarilla, rojo) como para las mallas que no son de color de apariencia pero que modifican el espectro no visible y/o incrementa la proporción de luz difusa (gris, aluminizada, perla) (Varela, *et al.*, 2008).

- Mallas de protección: estas mallas permiten la creación de un microclima que favorece la productividad, calidad y homogeneidad de las plantas. Estos resultados son gracias a los siguientes efectos: efecto invernadero, cortaviento, protección contra adversidades climáticas, protección contra plagas y mayor difusión de luz (Pulido, 2012); (Varela, *et al.*, 2008).

La diferencia entre las pantallas térmicas y de sombreo, es que las térmicas producen reflexión disminuyendo la temperatura en el día, mientras que las de sombreo, no dejan pasar luz pero si el paso de calor (Albaladejo, 2001).

3.5.2. Ventajas del uso de pantallas termo-reflectoras sobre cultivos hortícolas en invernadero

Las principales ventajas que tiene el uso de pantallas termo-reflectoras dentro de un invernadero son:

- Control de la humedad
- Control de luminosidad
- Control de temperatura
- Ahorro de energía

3.5.3. Efecto de pantallas termo-reflectoras sobre los factores microclimáticos del cultivo de tomate hidropónico en invernadero

Las pantallas termo-reflectora reducen significativamente la perdida de calor en los invernaderos, y disminuyen el volumen de aire a calentar, reduciendo los gastos de combustibles de calefacción. Las pantallas cerradas reducen la transferencia de energía por convención a través de la cubierta, esta reducción es mayor cuanto

menor es la emisividad de la pantalla a la radiación infrarroja, como ocurre en caso de pantallas aluminizadas (Bailey, 1978).

Las pantallas termo-reflectoras producen un aumento de temperatura mínima nocturna del invernadero en 2-3 ºC como consecuencia de la disminución de la perdida de radiación térmica durante la noche (Callejón, 2003) y aumenta 1-2 ºC de la temperatura de la planta. Disminuyen significativamente la transpiración nocturna del cultivo y como consecuencia, la reducción de calor consumido en el flujo evaporativo.

El uso de pantallas aluminizadas móviles produce un aumento de los rendimientos que puede alcanzar el 40%. Y estos resultados se obtienen cuando se despliegan las pantallas al final del día y se recorren por la mañana. Lo que permite disminuir el consumo de combustible destinado a la calefacción del 20 al 27% dependiendo del tipo de pantalla, (Pirard, *et al.*, 1994).

Se utilizan como sistema de reducción de la radiación solar incidente ya que su alta capacidad de reflectividad puede conseguir una reducción de 7 ºC en la temperatura de los frutos, también permite tener niveles de reflexión de los rayos de entre 20% hasta 100% según sea la pantalla (Callejón, 2003).

Las pantallas ayudan a la absorción de exceso de humedad, que por efecto de capilaridad se concentraría en la parte superior de la pantalla y por lo tanto la evapora. Durante un día caluroso y soleado la variación de la humedad relativa es mucho menor cuando se usa una pantalla termo-reflectora (Callejón, 2003).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización del sitio experimental

El invernadero donde se ubicó el experimento del presente trabajo se localiza en el Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México: con coordenadas geográficas 25º 27´ 37.52´´ de Latitud Norte; 100º 58´08.23´´ de Longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1502 m (Figura 2).

Figura 2. Vista panorámica del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con plano de ubicación del Campo Agrícola Experimental, Saltillo, Coahuila, México.

El Campo Agrícola Experimental presenta una pendiente del 1% N-S, y cuenta con una fuente de agua de un pozo profundo, el cual satisface las necesidades de agua para riego del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y el invernadero cuenta con una superficie de 641.30 m^2 .

El agua de riego procedente del pozo profundo, es rebombeada con 5 caballos de potencia y conducida vía subterránea (tubería de PVC), lo que permite tener la presión necesaria para el adecuado funcionamiento del sistema de riego por goteo.

Según los análisis de agua (Tabla 2) y de acuerdo al laboratorio de calidad de aguas y salinidad de Riverside perteneciente al departamento de agricultura de los Estados Unidos el agua se clasifica como C_2-S_1 que indica que es una agua de buena calidad, apta para riego, sin embargo contiene una dureza muy alta, debido a el alto contenido de carbonatos característico de las aguas subterráneas del Valle de Saltillo,

y que deben ser eliminados continuamente con lavados, para evitar problemas de infiltración y daños en el sistema de riego (Rhoades, 1988).

Tabla 2. Análisis de agua de riego.

Variable	Valores óptimos	Valores	Unidades
pH	7-8	7.8	-
CE	< 2.5	1.8	$dS \cdot m^{-1}$
Dureza	< 22	74.53*	$Mg \cdot L^{-1}$
Sólidos Disueltos	< 1.44	1.896	$g \cdot L^{-1}$
Cl^-	< 4	2.3	$mEq \cdot L^{-1}$
SO_4^{-2}	12.6	8.6	$mEq \cdot L^{-1}$
CO_3H^-	3	7.8	$mEq \cdot L^{-1}$
Na^+	< 3	1.6	$mEq \cdot L^{-1}$
Ca^{++}	2.5	6.8	$mEq \cdot L^{-1}$
Mg^{++}	< 8.2	8.2	$mEq \cdot L^{-1}$
Relación de adsorción de sodio (RAS)	< 5	0.58	-

* Agua Muy Dura

4.1.1. Características climatológicas

La región de Saltillo cuenta con un clima seco estepario que de acuerdo a la clasificación de Köeppen modificada por García (2004), se identifica con la nomenclatura **BSwKx´,** donde **B** es secos, **S** es semiáridos esteparios, **w** es lluvias en verano o irregulares durante el año pero con una precipitación en cm igual o menor al doble del promedio de la temperatura anual más 14 ºC, **K** es el promedio de la temperatura anual inferior a 18 ºC, **x´** es lluvias irregulares pero intensas en todas la estaciones del año (Rodríguez, 1974).

Las Normales Climatológicas del observatorio sinóptico de Saltillo (CONAGUA, 2010) indican que según los datos obtenidos por "La estación meteorológica 00005048" la zona presenta una temperatura promedio anual de 18.1 ºC, una humedad relativa promedio anual de 56-60%, con una precipitación anual de 363.9 mm, siendo los meses de julio a septiembre con mayor presencia de lluvias, y una evaporación potencial promedio anual de 2171.6 mm. La velocidad del viento es de 10.4 m s^{-1} con dirección noreste y la radiación total solar acumulada promedio anual por día es de 16.35 MJ m^{-2}.

4.2. Materiales

4.2.1. Material Vegetal

Se utilizaron dos híbridos de tomate: Gabriela (Figura 3) de crecimiento indeterminado (casa comercial Hazera) que se caracteriza por ser de maduración tardía, de vida útil muy larga apta para la producción en invernadero, con fruto tipo bola de forma aplanado con un peso de 120-180 g, recomendado para cultivarse en épocas de otoño, invierno y primavera temprana, y Gironda (Figura 4) de crecimiento indeterminado (casa comercial Enza Zaden) caracterizado por tener una maduración intermedia, con alta capacidad de producción en invernadero, con frutos tipo bola de forma redonda con un peso de 160-220 g recomendado para condiciones de otoño-invierno.

Figura 3. Híbrido Gabriela tipo bola de la casa comercial Hazera.

Figura 4. Híbrido Gironda tipo bola de la casa comercial Enza Zaden.

4.2.2. Características del invernadero

El invernadero donde se realizó el experimento es de alta tecnología (Figura 5), con una superficie de 641.30 m^2 y con las siguientes características: estructura clásica de 9.6 m por gablete con ventanas cenitales tipo Mariposa, cortinas perimetrales motorizadas, cubierta de polietileno difuso al 75% (180 micras), malla perimetral color negro, malla en ventanas cenitales de color blanco, tutoreo de 12 filas por gablete, pabellón de entrada con doble puerta de seguridad (2x2 m), puerta de maquinaria y mantenimiento de acero galvanizado (3x4 m), y un sistema de control de clima que incluía sistema de calefacción por aire, sistema de enfriamiento (pared húmeda y cuatro extractores), pantalla termo-reflectora dinámica motorizada,

pantalla termo-reflectora fija que cubría solo el 50% de la superficie total (Aluminizada), sistema de recirculación de aire y una estación meteorológica.

El invernadero contó con canaletas para el soporte y drenaje de los sacos de sustrato del cultivo y el suelo se cubrió con Grown-cover color blanco para reflejar la radiación solar útil para la fotosíntesis de las plantas.

Figura 5. Invernadero de alta tecnología de estructura clásica a dos gabletes con ventanas cenitales tipo mariposas.

Las canaletas tenían una longitud de 10 m por lo que se instalaron un total de 12 para establecer el cultivo, posteriormente se colocaron sobre las Canaletas los contenedores de polietileno coextruido de color blanco-negro tipo “bolis” con dimensiones de 1.0 m por 0.30 m que fueron rellenados con 28 L de perlita como sustrato de soporte para la planta (Figura 6).

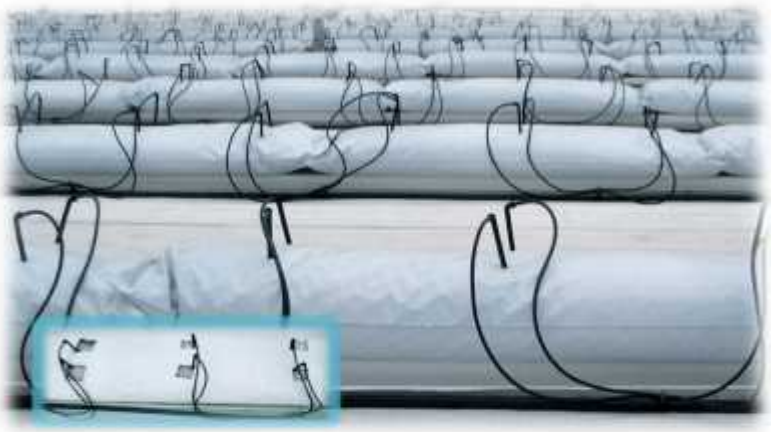

Figura 6. Instalación de Canaletas, contenedores y sistema de riego presurizado.

La cantidad de riego requerido por tratamiento en cada una de las etapas del cultivo fueron calculadas mediante el consumo de agua de la planta y la cantidad de drenaje por día, por lo que se instaló un tanque de 1100 L al final del área experimental con la finalidad de captar el drenaje de todas la unidades experimentales. El sistema de riego presurizado fue a base de mangueras de poliducto de ½" colocando una línea de riego por cada línea de contenedor, cada línea de riego tuvo goteros autocompensados y antidrenantes con un gasto de 4 L h^{-1} a una presión de operación de 15-20 PSI con cuatro salidas de distribución donde se colocaron tubines con sus respectivas estacas.

4.3. Métodos

4.3.1. Producción de plántula

La siembra se realizó el día 18 de Junio de 2013 en charolas de polietileno expandido (unicel) de alta resistencia con 200 cavidades. Como sustrato para la plántula se utilizó peat moss, posteriormente se realizó el humedecimiento del sustrato y se depositó la semilla (una por cavidad), se cubrió con una capa de sustrato húmedo, posteriormente se estibaron las charolas sembradas y se cubrieron con un plástico negro, finalmente se ubicaron en un lugar oscuro con temperatura de 18 ºC promedio, con la finalidad de proporcionar la temperatura adecuada y la mínima cantidad de luz requerida para germinación de la semilla (Figura 7). Se realizó una revisión continua de las charolas durante los primeros días para detectar la emergencia de las plántulas, siendo que estas salieron a los cinco días después de la siembra (DDS), por lo que se procedió a las expansión de charolas dentro del invernadero, que se regaron de forma manual, y a partir de la presencia de hojas verdaderas se regaron con solución nutritiva estándar (Steiner, 1996) en concentración baja, con un incremento progresivo de 25% a 50%. Esta etapa duró 41 días hasta que las plántulas alcanzaron una altura de 20 cm y tenían seis hojas verdaderas.

Figura 7. Proceso de producción de plántula de tomate de crecimiento indeterminado.

4.3.2. Prácticas culturales del cultivo de tomate en invernadero

4.3.2.1. Trasplante

El trasplante se realizó el día 6 de agosto de 2013, se establecieron seis plantas por contenedor de tipo “bolis” y 24 contenedores por tratamiento lo que da un total de 144 plantas por tratamiento, distribuidas en cuatro repeticiones, teniendo un total de 576 plantas en el área experimental. Se consideraron como bordos 24 bolis con 144 plantas ubicadas a los extremos de las líneas (en la parte norte y sur) de cada uno de los tratamientos.

La densidad de plantación fue de 3.3 plantas por m^2, con un marco de plantación de 1.8 m entre camas con doble hilera de plantas con una separación de 0.15 m entre hileras y una separación de 0.33 m entre plantas (Figura 8), teniendo un total de 720 plantas en la superficie total (216 m^2) dentro del invernadero.

Figura 8. Trasplante de plántulas de tomate tipo bola a un sistema hidropónico protegido.

4.3.2.2. Fertilización

Se utilizó una solución nutritiva universal de acuerdo a cada una de las etapas fenológicas del cultivo (Tabla 2), las cuales fueron calculadas con base a la teoría de (Hoagland y Arnon, 1940), considerando la aportación de nutrimentos del agua de riego de CIQA y la etapa fenológica del cultivo.

Tabla 3. Solución Nutritiva utilizada en el cultivo de Tomate en invernadero con manejo hidropónico ($mEq \cdot L^{-1}$).

Nutrimento	Etapa 1 Trasplante a 1er Cuaje	Etapa 2 1er a 3er cuaje	Etapa 3 3er a 5to cuaje	Etapa 3 5to cuaje en adelante
$N\text{-}NO_3$	9	10.7	13	12
H_2PO_4	2	1.8	1.8	1.8
K^+	4	4.8	6.5	7
Ca^{++}	7.5	8	9	9.5
Mg^{++}	3	4	4	4

4.3.2.3. Riego

Para la programación del riego se utilizó un programador de la marca “Rain Bird”, con una capacidad de efectuar 6 riegos por zona por lo que se realizó un ajuste eléctrico (puentes entre dos zonas), para obtener un total de 12 riegos por día, con intervalos de una hora, teniendo como unidad mínima de tiempo de riego “Minutos”. El invernadero contó con una zona de riego con el 30% de drenaje. Para obtener los tiempos de riego se consideraron los siguientes factores registrados el día anterior al riego de: el porcentaje de drenaje, el consumo de agua, las condiciones climáticas y la etapa fenológica del cultivo. El porcentaje de drenaje se obtuvo midiendo la cantidad de drenaje del día anterior dividida entre 100, por la cantidad de riego aplicada el día anterior; la cantidad de riego aplicada se obtiene con el tiempo de riego total aplicado del día anterior por el gasto del sistema.

4.3.2.4. Tutoreo

Se estableció un tutoreo tipo holandés a un tallo, a base de soportes verticales con cuerdas de polipropileno sujetadas en la parte superior del invernadero (gabletes) con ganchos de tutoreo de acero galvanizado, y en la parte inferior fueron sujetas a la planta con la ayuda de anillos de plástico (polietileno) en la zona de la

primera hoja madura (Figura 9) y conforme fue creciendo está se fue guiando en forma de espiral: posteriormente cuando la planta obtuvo el tamaño máximo del tutor se realizó la bajada de cultivo. La actividad de tutoreo se inició a los 5 DDT y fue continua hasta el final del ciclo del cultivo.

Figura 9. Plantas con sistema de tutoreo tipo holandés a un tallo en la etapa fenológica del cultivo uno.

4.3.2.5. Poda

El cultivo se manejó a un tallo por lo que la poda se realizó para eliminar brotes de crecimientos secundarios (desarrollados en la base del tallo y en yemas axilares) y de hojas basales viejas, para dar formación, mejorar el desarrollo vegetativo y dar mayor aireación a la planta.

Se realizó una poda de hojas intermedias a partir de los 80 DDT para tener producciones homogéneas de buena calidad con frutos de tamaños uniformes, (Figura 10) y está consistió en eliminar hojas entre racimos cuajados totalmente, dejando una hoja en la parte superior y otra por la parte inferior del racimo, considerando que son las hojas que aportan mayor cantidad de nutrimentos al fruto.

Figura 10. Poda de hojas en la Planta de Tomate en la etapa de producción.

Se realizó una poda de hojas con síntomas de enfermedad (Oidio) para evitar la manifestación y contaminación de las demás plantas.

Además se realizó una poda de frutos (raleo de racimos) con la finalidad de obtener racimos homogéneos, dejando cinco frutos por racimo. Esta práctica se realizó durante toda la etapa de producción (noviembre de 2013 a marzo de 2014).

El material utilizado para esta práctica cultural fue: tijeras de podar, solución de agua con cloro (1%) para la desinfección de material, recipientes de 1 L y guantes.

4.3.2.6. Control de plagas y enfermedades

Debido al buen manejo que se realizó al cultivo, no se observaron problemas con plagas y enfermedades, pero en la etapa de plántula una mínima cantidad de plántulas presentó síntomas de “damping-off” y posteriormente en la etapa vegetativa de la planta se tuvo presencia de inicios de oidiopsis (*Leveillula taurina* (lev.) Arnaund), por lo cual se aplicaron en la etapa inicial y hasta antes de la etapa productiva los siguientes productos: Previcur, Cupravit y Rali, con los cuales se evitó el desarrollo de dichas enfermedades. Posteriormente se realizaron aplicaciones periódicas vía riego de Benomilo entre los 60-100 DDT, como preventivo de enfermedades en la raíz.

Aunque no se tuvo presencia de plagas, se realizaron aplicaciones preventivas en etapas iniciales para evitar problemas con mosquita blanca y trips, se aplicó

Imidacropit por única vez a los 3 DDT y posteriormente dos aplicaciones de Abactín en la etapa vegetativa.

4.3.2.7. Cosecha

La etapa de cosecha empezó en noviembre de 2013 concluyendo en marzo de 2014, en los meses de noviembre y diciembre se realizaron dos cortes por semana y en los meses de enero a marzo se realizó un corte por semana. Se consideró la mínima madurez del fruto para su recolecta que corresponde a la clase rosa o estado cuatro de la tabla de patrón de color utilizada por United Status Departamento off Agricultura (USDA), en este estado más del 30% del fruto presenta color rosa-rojo pero no supera el 60% de su superficie (Figura 11).

Figura 11. Recolección de los fruto del cultivo de Tomate Hidropónico.

4.3.3. Tratamientos

Los tratamientos fueron establecidos de acuerdo a los factores involucrados (Pantalla termo-reflectoras e híbridos), teniendo en total cuatro tratamientos con cuatro repeticiones (Tabla 4), con 36 plantas por unidad experimental y 144 plantas por tratamiento considerando 144 plantas de borde distribuidas en la parte norte y sur.

Tabla 4. Factores involucrados en los tratamientos del trabajo experimental

1º Factor (A)	2º Factor (B)	Tratamiento
Pantalla Termodinámica + Aluminet **(a_1)**	Hibrido Gironda **(b_1)**	**T1**
	Hibrido Gabriela **(b_2)**	**T2**
Pantalla Termodinámica **(a_2)**	Hibrido Gironda **(b_1)**	**T3**
	Hibrido Gabriela **(b_2)**	**T4**

4.3.3.1. Pantallas termo-reflectoras

Se establecieron dos tipos de pantalla termo-reflectoras dentro del invernadero para evaluar sus diferentes efectos sobre el cultivo de tomate hidropónico. Una de las pantallas fue termo-reflectora dinámica (termodinámica) y la otra fue una pantalla termo-reflectora dinámica más aluminizada (termodinámica + Aluminet) que cubría el 50% de la superficie del invernadero.

4.3.3.2. Híbridos

Se establecieron dos híbridos de tomate en experimento con la finalidad de evaluar su rendimiento e interacción con otros factores (microclima). Estos híbridos fueron Gabriela y Gironda, caracterizados por ser de tipo bola, con crecimiento indeterminado y de alta capacidad para su producción en invernadero.

4.3.4. Control de clima y riego

4.3.4.1. Programación Climática

Las condiciones microclimáticas dentro del invernadero fueron controladas de forma automática con el equipo NMC-Pro Climate (Figura 12), considerando las necesidades microclimáticas del cultivo y las condiciones ambientales exteriores. El invernadero contó con una estación meteorológica Marca DAVIS modelo VANTAGE PRO 2 en la parte exterior con sus respectivos sensores y en la parte interior contó con sensores de temperatura y humedad relativa del aire Marca Vaisala, que fueron muestreados y registrados en el NMC-Pro Climate con una frecuencia de 30 s con la finalidad de mantener en el interior del invernadero una temperatura

ambiente promedio de 18-20 ºC , una humedad relativa del ambiente entre 65-70%, y un Déficit de Presión de Vapor (DPV) de 1.5-2.5 kPa.

Figura 12. Controlador de clima NMC-Pro Climate.

El invernadero contó los siguientes equipos (Figura 13) para el control climático: cuatro extractores, una pared humedad, un par de recirculadores, dos calentadores, ventanas cenitales y laterales; motorizadas y automatizadas, pantalla termo-reflectora aluminizada y una pantalla termodinámica motorizada y automatizada.

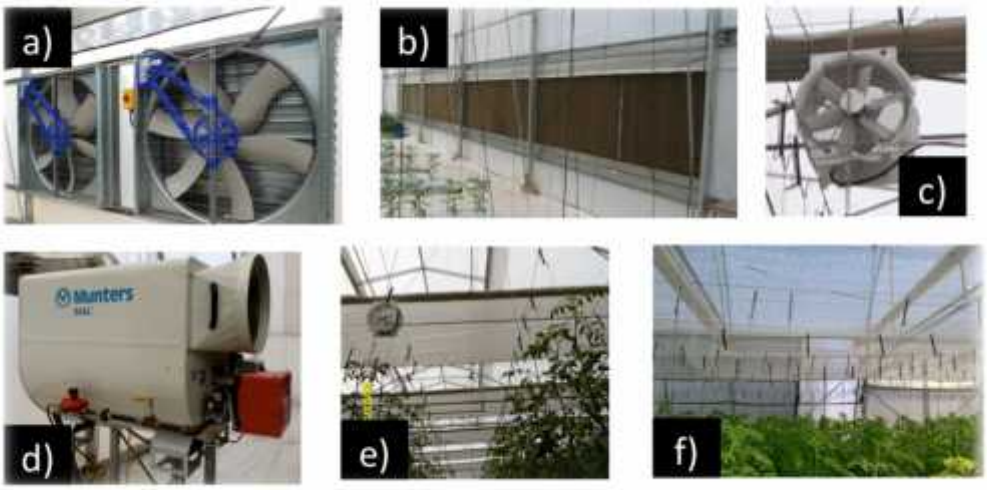

Figura 13. Accesorios del invernadero. a)Extractores de aire, b) Pared húmeda, c) Recirculadores de aire, d) Calentadores, e) Pantalla termodinámica y f) Pantalla termo-reflectora.

4.3.4.2. Control de la salinidad

Con la finalidad de evitar la acumulación de sólidos salinos en el sustrato se realizaron mediciones de pH y de conductividad eléctrica de (CE) de la solución nutritiva y del drenaje, con ayuda de un tester medidor combo de pH y CE modelo waterproof de la marca HANNA. La CE del agua de riego se mantuvo en 1.8 $dS \cdot m^{-1}$ y el pH en 7.8 y al agregarles los nutrimentos requeridos mantuvimos la CE de la solución nutritiva entre 2.7 y 3.2 $dS \cdot m^{-1}$ y el pH de entre 5.5 y 6. El control de estas variables así como sus muestreos se realizó periódicamente durante todo el ciclo del cultivo.

Cuando la conductividad eléctrica del drenaje era una unidad mayor a la de la solución nutritiva aplicada se realizaban lavados para disminuir la acumulación de sales en el sustrato.

4.3.5. Variables evaluadas

4.3.5.1. Radiación y Energía Lumínica

Se evaluaron dentro del invernadero las siguientes variables de radiación: radiación total solar (Rs) y radiación fotosintéticamente activa (PAR), con ayuda de sensores: piranómetro marca LI-COR modelo LI-200 y quantum marca Apogee modelo SQ-225 (Figura 14).

La frecuencia de muestreo de datos de los diferentes sensores fue cada 30 s y fueron almacenados en promedios de 30 min en un datalogger modelo CR23X, de la marca Campbell Scientific, Logan Utah. USA. Se instalaron los sensores antes mencionados en la parte central de cada una de las zonas de evaluación, con diferentes pantallas termo-reflectoras (termodinámica y termodinámica mas aluminet). Los datos evaluados correspondieron al periodo de invierno.

La cantidad de luz dentro del invernadero se evaluó en la diferentes pantallas termo-reflectoras durante todo un día soleado (8:00 a 18:00 h), con la ayuda de un Luxómetro de la marca HANNA modelo HI-97500, el muestreo de datos se realizó con una frecuencia de una hora en los puntos cardinales norte, sur, este, oeste y centro de cada una de las pantallas.

Figura 14. Sensores para medir la temperatura, humedad relativa y radiación ubicados en la parte central cada una de las pantallas termo-reflectoras en el cultivo de tomate hidropónico.

4.3.5.2. Temperatura y humedad relativa del ambiente

Se instalaron termopares para medir la temperatura y humedad relativa del ambiente (Figura 14), en las diferentes zonas del invernadero. La frecuencia de muestreo de los sensores fue de 30 s, registrando promedios cada 30 min en un sistema de adquisición de datos automatizado (CR23X, Campbell Scientific, Logan, Utah. USA).

4.3.5.3. Análisis de crecimiento vegetativo

Las evaluaciones de crecimiento se iniciaron una vez que las plantas se adaptaron perfectamente al trasplante (15 de agosto de 2013) y consistió en un análisis destructivo (Figura 15), en los cuales se evaluó una planta representativa y que estuviera en competencia completa para cada tratamiento, teniendo un total de cuatro plantas evaluadas por tratamiento.

Se realizaron las siguientes mediciones: diámetro y longitud de tallo, distancia entre nudos y racimos; utilizando un vernier digital y un flexómetro, área foliar que se midió con la ayuda de un equipo marca LI-COR modelo LI-3200 y posteriormente se calculó el Índice de Área Foliar (IAF) que es la relación de área foliar con la superficie correspondiente a la planta. También se cuantificó la cantidad de materia seca de: tallo, peciolo, hojas, flor y fruto con la ayuda de una balanza digital (Navigato XL de Ohaus de capacidad de 10 kg) cuando la materia vegetativa presentó total deshidratación, obtenida con ayuda de una estufa a 75 ºC. Las evaluaciones se realizaron cada 14 días durante un periodo de cuatro meses continuos (agosto-

noviembre de 2013) y un último muestreo en el mes de marzo de 2014, teniendo así un total de nueve muestreos.

Figura 15. Separación de la planta de tomate para la evaluación de su crecimiento.

4.3.5.4. Fotosíntesis

Se realizó la evaluación de la fotosíntesis de la planta con el equipo IRGA de la marca LI-COR, Lincoln Nebraska. USA modelo LI-6400XT (Figura 16). Las mediciones de fotosíntesis se realizaron durante todo el día, el 10 de Febrero (etapa productiva), iniciando a las 8:00 h y concluyendo a las 18:00 h. Se tomaron dos medidas por planta una en la parte superior, aproximadamente a la altura de 1.60 m, y otra en la parte inferior a una altura de 1.0 m, en una planta por tratamiento.

Figura 16. Equipo de Fotosíntesis (IRGA, modelo LI-6400XT, LI-COR, Lincoln Nebraska. USA).

4.3.5.5. Rendimiento

El rendimiento de frutos producidos en toda la etapa reproductiva del ciclo del tomate se evalúo en 12 plantas de la parcela útil, con un total de 48 plantas por tratamiento ubicadas en la parte central de cada unidad experimental, con la finalidad de evitar error de borde y poder analizar correctamente las diferencias existentes en los tratamientos (Figura 17).

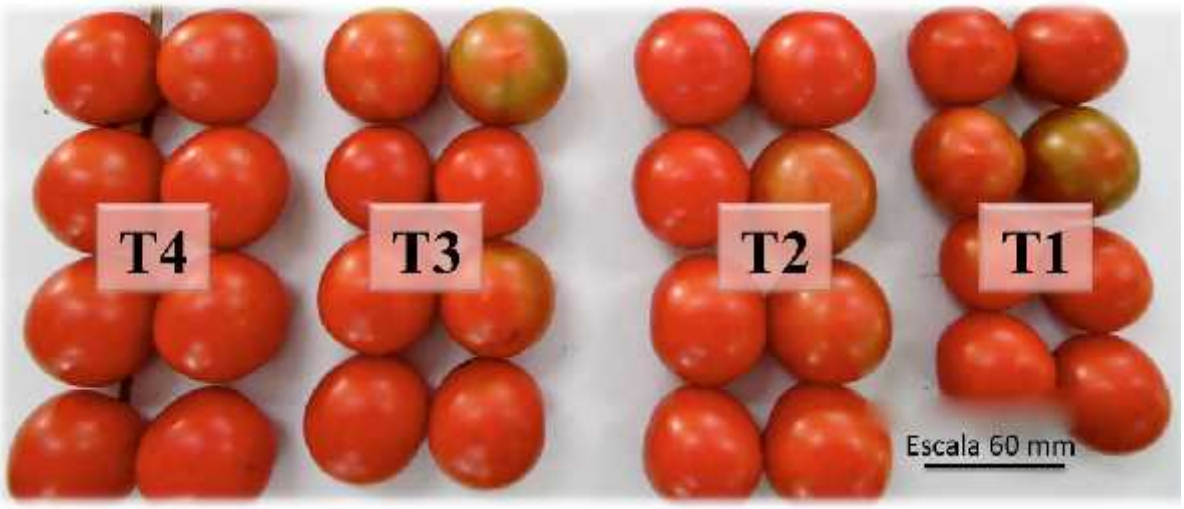

Figura 17. Diferencias de los frutos de tomate, por efecto de los diferentes tratamientos estudiados.

Se realizaron las siguiente mediciones: peso y número de frutos por tratamiento y se reportó el rendimiento de fruto en $t \cdot ha^{-1}$, las dimensiones de diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), y el contenido de sólidos solubles (CSS) de fruto en

ºBx. Los equipos utilizados fueron: balanza digital con capacidad de 60 kg modelo Navigato XL de Ohaus, Vernier digital y un Refractómetro digital modelo PAL-BxRI marca Pocke.

Las evaluaciones se realizaron en cada corte aproximadamente cada siete días, durante un periodo de cinco meses continuos (noviembre de 2013 a marzo de 2014) con un total de 20 muestreos.

4.3.5.6. Postcosecha

Se realizó un análisis de la etapa de postcosecha del fruto que hace referencia a la calidad del fruto y la duración de su vida en anaquel, para lo que se cuantificaron las siguientes variables: peso de fruto (balanza digital con capacidad de 10 kg modelo Navigato XL de Ohaus), firmeza de corteza (un penetrómetro de la marca QA), CSS en ºBx (refractómetro digital modelo PAL-BxRI marca Pocke), y acidez del zumo de tomate "pH" (medidor de pH waterproof de la marca HANNA) (Figura 18).

Figura 18. Evaluación de la calidad de los frutos de tomate en postcosecha.

Se muestrearon 10 frutos por unidad experimental teniendo un total de 40 frutos por tratamiento. La maduración de los frutos fue la minima madurez que corresponde a la clase rosa presentando un 40% de color rosa-rojo. Se colocaron cinco frutos en cajas de plástico (polietileno de alta densidad) de color trasparente teniendo dos cajas por unidad experimental a las cuales se les dieron diferentes condiciones de temperatura; ambiente promedio de 21 ºC y conserva 8 ºC.

El análisis tuvo una duración de 25 días después de la cosecha (DDC) de los frutos muestreados, realizando el primer muestreo el día de la cosecha y los siguientes cada seis días (7, 13, 19, 25 DDC).

4.3.6. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental "Split-plot" (parcelas divididas, arreglo en franjas) que suele nombrase "diseño factorial anidado", esto nos permite analizar de forma correcta los efectos de los dos factores involucrados en el experimento: Pantalla Termo-reflectoras e híbridos, sobre la plantas de tomate (Figura 19). Los tratamientos fueron establecidos de acuerdo a los factores involucrados.

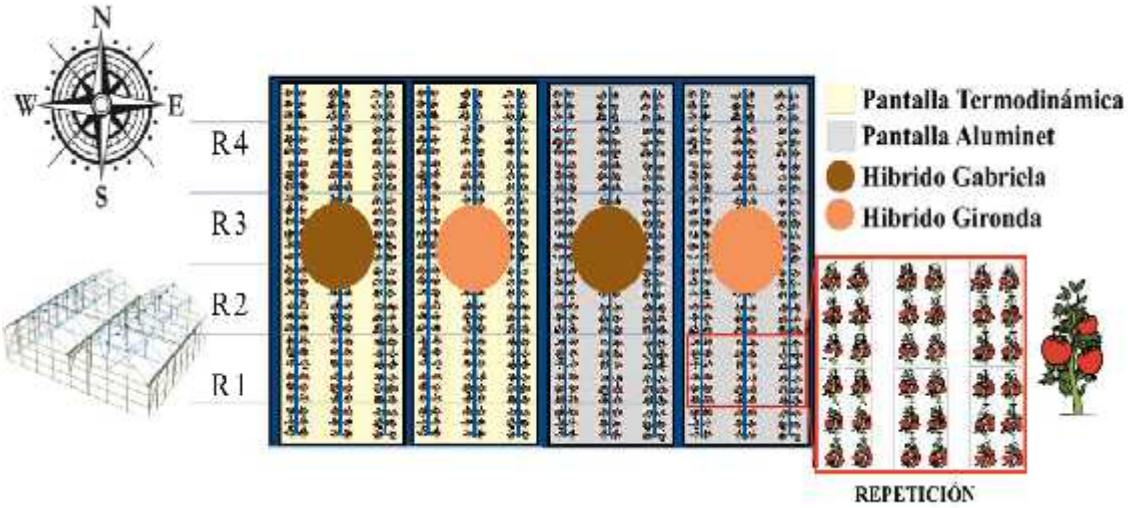

Figura 19. Diagrama de distribución de tratamientos en el invernadero de alta tecnología de CIQA.

4.3.6.1. Procesamiento de datos

Todos los datos resultantes del experimento se analizaron mediante el programa estadístico SPSS V. 21. (Statistical Package for the Social Sciences), con un análisis lineal general multivariante y usando la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) $P \leq 0.05$.

V. RESULTADOS Y DISCUCIÓNES

5.1. Variables microclimáticas

5.1.1. Temperatura y humedad relativa, del ambiente (Ta y HR)

La pantalla termodinámica más aluminet tuvo efecto sobre la temperatura del ambiente con una media de 16 ºC (Max. 28 ºC y _Min. 10 ºC) y fue menor que en el ambiente bajo la pantalla termo-dinámica con una media de 17 ºC (Max. 30 ºC y 12 ºC_Min.) durante todo el ciclo de cultivo como lo indica la figura 20, y esto no represento diferencia significativa entre los tratamientos y las plantas de los tratamientos T3 y T4 no manifestaron síntomas de estrés térmico en las horas de mayor temperatura durante el día.

La humedad relativa en ambos ambientes fue muy similar, es decir que en los tratamientos con pantalla termodinámica más aluminet se obtuvo una media de 69% y en los tratamientos con pantalla termodinámica se obtuvo 65%, y tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos. Esto se debe a que el invernadero cuenta con sistema de enfriamiento automatizado por lo que se controlaron adecuadamente estos factores climáticos.

Callejón, *et al.*, (2009) encontraron resultados similares al utilizar mallas aluminet y plásticos encalado, registraron una temperatura menor en mallas aluminet que en el otro factor pero la humedad relativa fue mayor en el tratamiento de plástico encalado que bajo la malla aluminet y concluyen que se debió a que no tuvieron una buena ventilación en los invernaderos.

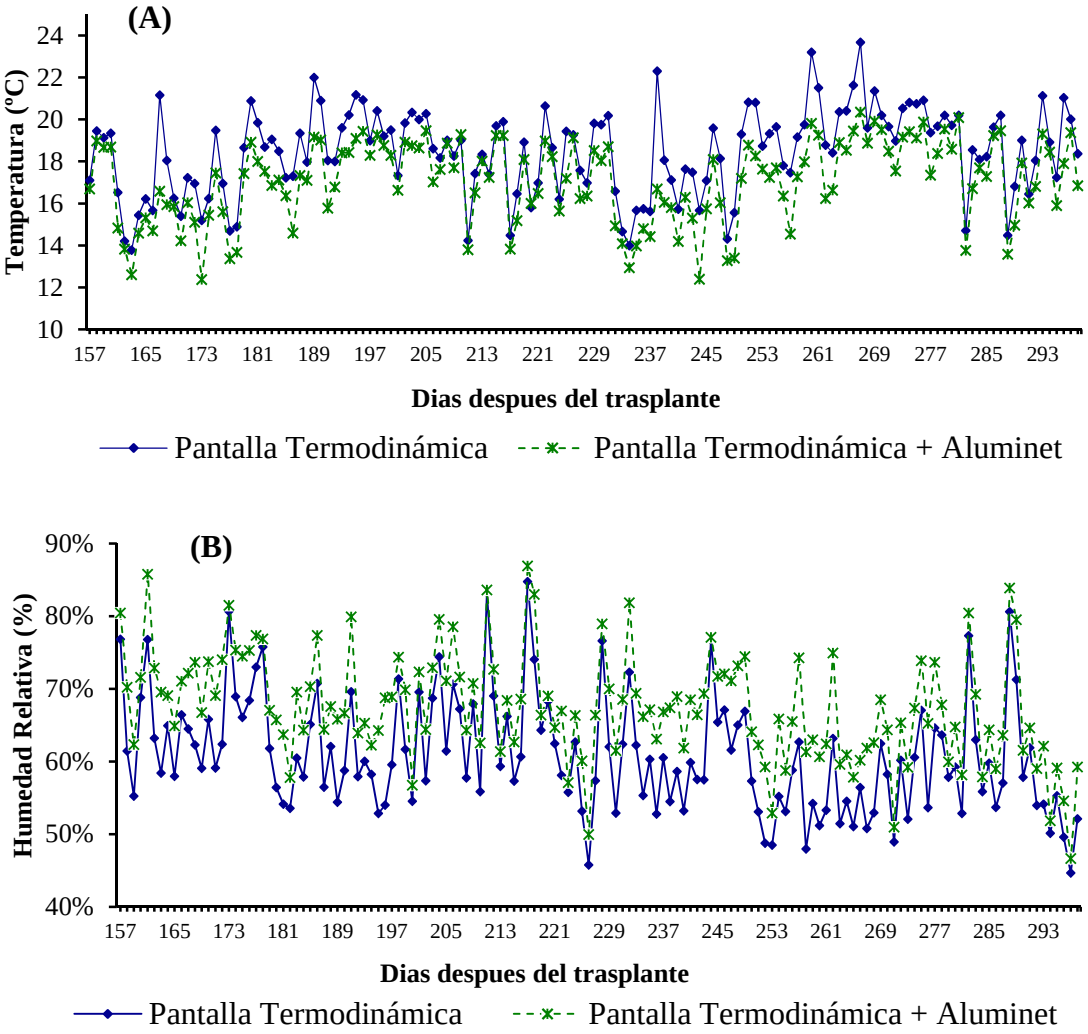

Figura 20. Comportamiento de la temperatura (A) y humedad relativa (B) en los ambientes de cada una de las pantallas termo-reflectoras donde se estableció el cultivo de tomate hidropónico en un invernadero de alta tecnología en la época de otoño-invierno de 2013-2014.

5.1.2. Radiación solar (Rs) y fotosintéticamente activa (PAR)

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y principal fuente de productividad. Las características ópticas de un invernadero modifica significativamente la calidad de la radiación, afectando a los cultivos principalmente en cuanto a la eficiencia del uso de la radiación y en la fotomorfogénesis (Baille, 1998).

En el presente trabajo la radiación solar (Figura 21) y la radiación fotosintéticamente activa (Figura 22) se vio modificada por las diferentes pantallas termo-reflectoras, favoreciendo el desarrollo del cultivo de tomate hidropónico, resultando el tratamiento T2 y T4 mayormente afectado por ambas pantallas según el análisis de varianza, teniendo un efecto positivo con diferencias estadísticamente significativa.

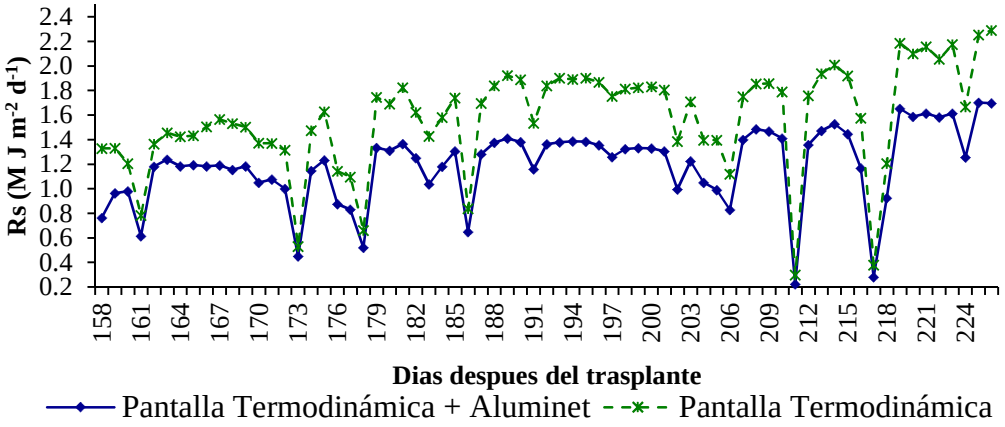

Figura 21. Comportamiento de la radiación solar integrada diaria durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate.

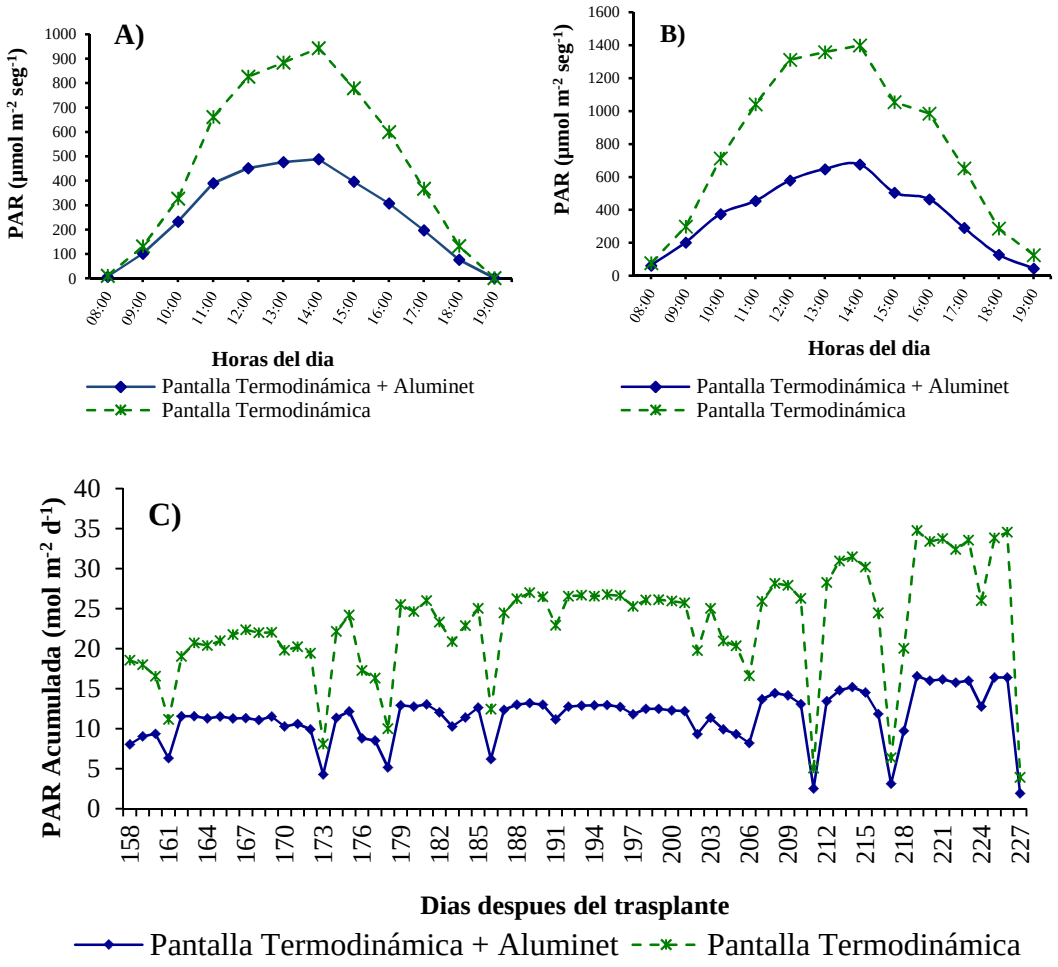

Figure 22. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa instantánea por día (A.-15 de enero y B.-15 de marzo) y la radiación fotosintéticamente activa integrada diaria (C), durante el ciclo de evaluación del cultivo de tomate.

5.1.3. Energía lumínica

La energía lumínica medida en las diferentes pantallas termo-reflectoras durante todo un día soleado, arrojaron valores diferentes estadísticamente, siendo la pantalla termodinámica la pantalla con mayor luminosidad teniendo un valor máximo de 763.15 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ a las 12:00 hrs. (Figura 23).

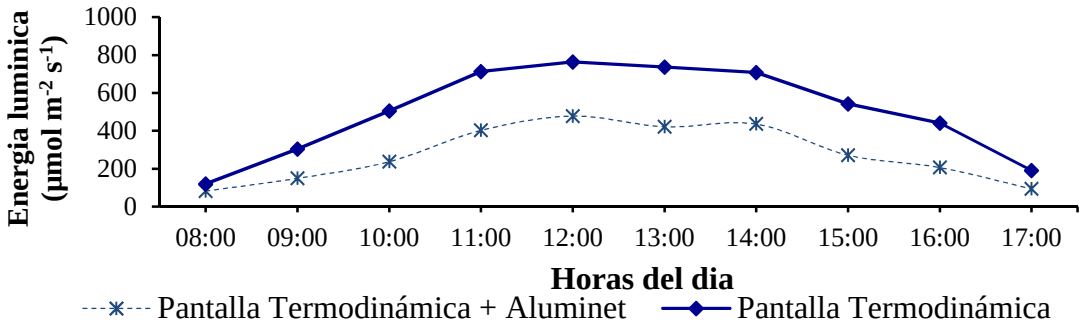

Figura 23. Comportamiento de la energía lumínica durante todo un día soleado de invierno en las diferentes pantallas termo-reflectoras.

5.2. Variables fenométricas

El crecimiento de las plantas se logra a través de la división celular, alargamiento y diferenciación, que implica eventos fisiológicos, genéticos, ecológicos, morfológicos y micro-meteorológicos (Vázquez, 2012), y de acuerdo a los resultados obtenidos estos fueron modificados por las mallas termo-reflectoras con la alteración de la cantidad y calidad de la radiación solar, régimen térmico y variabilidad del DPV, obteniendo así un efecto favorable sobre las plantas de tomate con manejo hidropónico.

De acuerdo a el análisis estadístico las variables fenométricas de la planta de tomate como longitud de tallo (LT), diámetro de tallo (DT), índice de área foliar (IAF), biomasa aérea; hoja (MSH), tallo (MST), peciolo (MSP), flor (MSFl) y fruto (MSFr), se observa y comprueba que las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre dichas variables, ya que los tratamientos presentaron diferencias significativas (Tabla 5).

Tabla 5. Variables fenométricas del cultivo de tomate hidropónico con medias de todo el ciclo.

Factores	Niveles	IAF ($cm^2\ cm^{-2}$)	DT (mm)	LT (m)	MSH (g)	MST (g)	MSP (g)	MSFl (g)	MSFr (g)
Pantallas (A)	Termodinámica +Aluminet (a_1)	5.466^a	9.074	2.208	20.558	26.974^b	12.282	0.153^b	17.494^b
	Termodinámica (a_2)	5.020^b	9.675^a	2.147	24.145^a	32.624^a	14.278^a	0.203^a	21.850^a
Híbridos (B)	Gironda (b_1)	4.951	8.885	2.194	21.163	25.973^b	12.813	0.155	16.791
	Gabriela (b_2)	5.559^a	9.096^a	2.202	23.235^a	27.692^a	13.538^a	0.160^a	21.885^a
T1	**a_1b_1**	4.976^c	9.245^b	2.155^b	19.547^c	28.012^b	11.717^c	0.177^c	15.408^c
T2	**a_1b_2**	5.957^a	8.903^c	2.261^a	21.569^b	25.936^c	12.846^b	0.129^b	19.580^b
T3	**a_2b_1**	4.880^c	10.062^a	2.151^b	23.387^{ab}	35.799^a	14.328^a	0.190^{ab}	19.508^b
T4	**a_2b_2**	5.161^b	9.289^b	2.143^c	24.902^a	29.448^b	14.229^a	0.217^a	24.191^a

5.2.1. Longitud de tallo (LT)

Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un gran efecto en la variable de longitud de tallo “LT”, presentando una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos sin embargo, el mejor fue el tratamiento T2 (a_1b_2) como se muestra en la tabla 5 y figura 24.

Las plantas de tomate desarrolladas bajo condiciones de baja radiación presentan una mayor altura, que plantas expuestas a irradiación solar total (Páez, *et al.*, 2000).

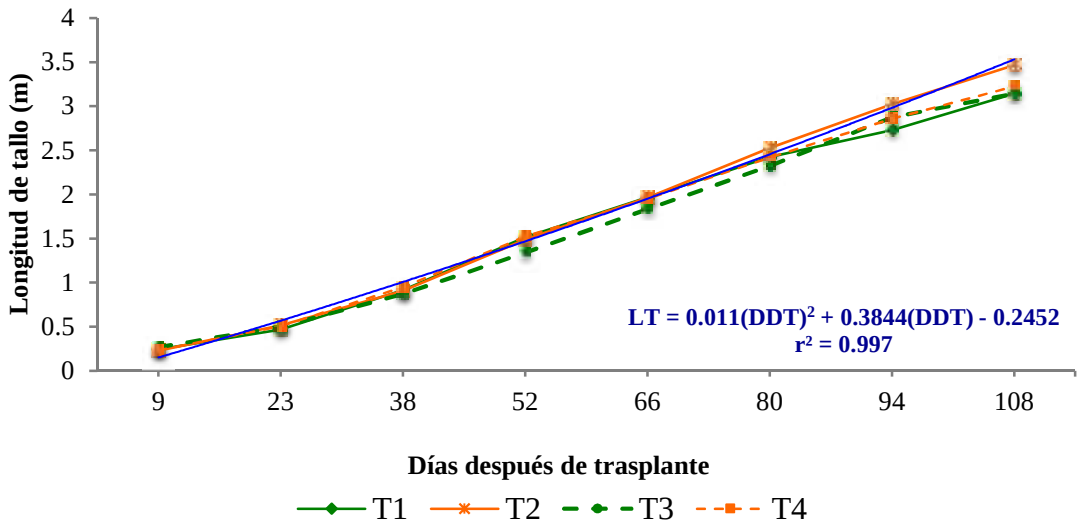

Figura 24. Comportamiento de la longitud de tallo durante el ciclo de cultivo de tomate influenciadas por los tratamientos evaluados. Los valores ilustrados presentan diferencias significativas a un P≤0.05 de acuerdo al LSD.

5.2.2. Diámetro de tallo (DT)

El efecto de las pantallas termo-reflectoras fue positivo sobre la variable de diámetro de tallo (DT) ya que se encontró diferencia significativa entre factores siendo el mejor factor pantallas que el factor híbridos, los tratamientos tuvieron diferencias significativas de acuerdo al análisis estadístico. El mejor tratamiento para esta variable fue el T3 (a_2b_1) como se observa en la tabla cinco y la figura 25.

Para la variable de diámetro de tallo en una investigación sobre el estudio de la densidad de población de tomate se comprueba que esta variable es inversamente proporcional a la densidad de población de cultivo, lo que indica que la densidad de población tiene efecto sobre el diámetro de tallo, y que por consiguiente la cantidad de luz, ya que nos indica que al haber menos penetración de luz provoca elongación de tallo (Cruz, *et al.*, 2003).

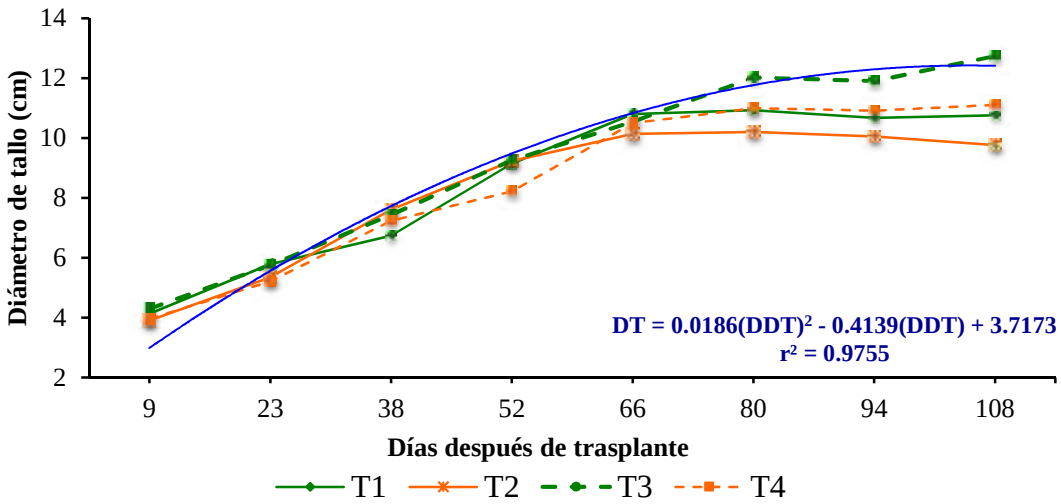

Figura 25. Evolución del crecimiento del tallo (diámetro) de plantas de tomate hidropónico bajo condiciones de invernadero, durante la época de otoño-invierno. Los valores ilustrados corresponden a los tratamientos del experimento que presentaron diferencias significativas durante el periodo de muestreo, de acuerdo al LSD a P≤0.05.

5.2.3. Índice de área foliar (IAF)

El IAF es influenciado por la radiación y se define como la relación entre el área foliar y la superficie del suelo ocupada por la planta.

Estudios realizados en Colombia para evaluar el crecimiento del cultivo de tomate observaron que los valores más altos de IAF se dieron a partir de 105 días después de trasplante (DDT) y disminuyeron a partir de los 120 DDT, siendo los tratamiento con mayor índice los que tenían mayor competencia de luz pues las plantas aprovecharon más la radiación presente, lo que se manifiesta fisiológicamente en una mayor tasa de translocación de fotoasimilados hacia los puntos de demanda que son los frutos de tomate (Barraza, *et al.*, 2004).

En el Presente trabajo se observa que las pantallas termo-reflectoras tuvieron un gran efecto sobre los híbridos evaluados en el índice de área foliar "IAF" ya que modificaron las cantidad de luz disponible para la planta, acercando esta cantidad a la más óptima (4 cm^2). El tratamiento T2 (a_1b_2)= 5.95 tuvo la mayor cantidad de área foliar por lo que sus niveles de IAF fueron los más altos de todos lo tratamiento, pero el T4 (a_2b_2)= 5.91 se acercó a los más óptimos sin rebasar dicho requerimiento teniendo los rendimientos mas altos como se observa en la figura 26.

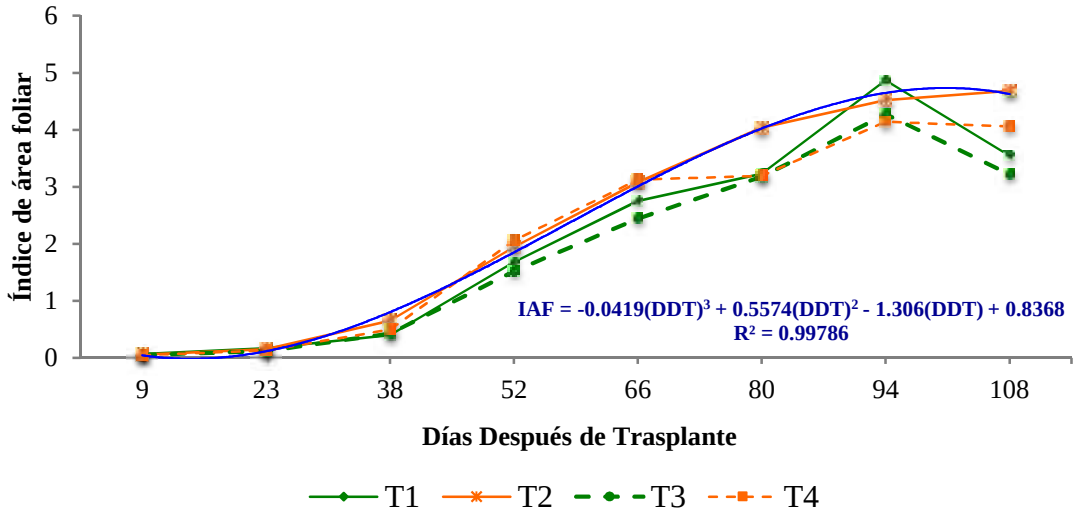

Figura 26. Comportamiento del IAF en las plantas de tomate hidropónico durante los primeros 5 meses de establecido el cultivo. Los valores ilustrados correspondientes a los tratamientos durante la etapa de muestreos que presentan diferencias significativas a un $P \leq 0.05$ de acuerdo a una prueba de LSD.

Las plantas de tomate desarrolladas bajo cubierta con baja radiación presentan una mayor área foliar que plantas expuestas a irradiación solar total (Páez, *et al.*, 2000).

El incremento de los rendimientos de un cultivo aumentan con IAF hasta un valor optimo ya que la planta realiza una captación de radiación más efectiva, pero si los valores se encuentran por encima de lo óptimo (4 cm^2) la productividad puede decaer por el excesivo gasto energético que demanda la respiración y por la mala utilización de la luz por parte de la hojas inferiores sombreadas, pues dejan de recibir la luz necesaria y pierden el balance de carbono y cuando sucede esto el IAF disminuye (Cayón, 1992).

5.2.4. Actividad fotosintética

La actividad fotosintética del cultivo tomate hidropónico fue medida durante todo un día en los diferentes tratamientos, tomando datos en la parte superior e inferior de la planta y dando como resultado que la parte superior dio valores más altos como se esperaba y por lo contrario la parte inferior dio datos más bajos. Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo ya que encontraron diferencias significativas en los diferentes tratamientos al igual que en las diferentes posiciones de muestreo (parte superior e inferior). Los tratamientos influenciados por la pantalla

termodinámica tuvieron los valores más altos de actividad fotosintética en la hoja; T3 (25.36 µmol CO_2 cm^{-2} s^{-1}) y T4 (23.04 µmol CO_2 cm^{-2} s^{-1}); (Figura 27 y 28).

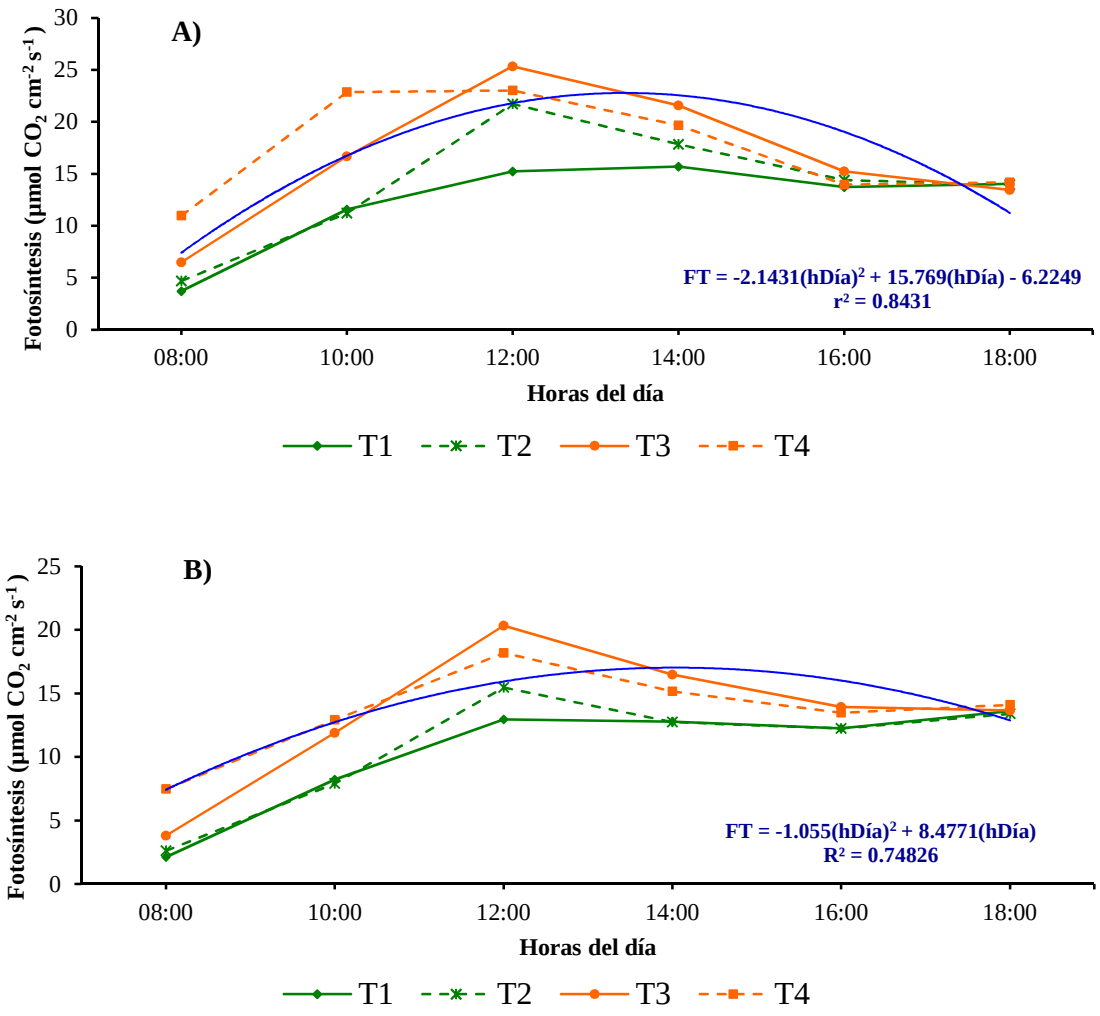

Figura 27. Comportamiento de la actividad fotosintética en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero durante todo un día de invierno, A) Actividad fotosintética en la parte superior de la planta (Dosel) y B) Actividad fotosintética en la parte inferior de la planta a una altura de 1.0 m sobre el suelo.

El sombreo afecta en la fotosíntesis, ya que se presenta menor tasa de asimilación de bióxido de carbono y mayor resistencia estomática al flujo de bióxido de carbono lo que sugiere que a mayor sombreo se reduce la tasa de fotosíntesis en la hoja, y esto fue observado en la investigación que se realizó en un cultivo de maíz con la finalidad de evaluar la reflectividad y absorbancia de radiación (Zermeño, *et al.*, 2005)

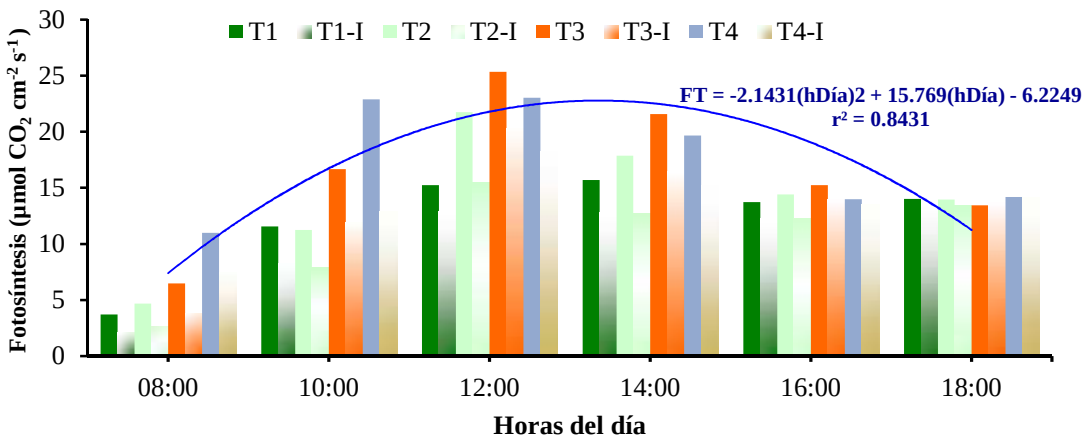

Figura 28. Comparación de la evolución de la actividad fotosintética en la parte superior (T1, T2, T3, T4) e inferior (T1-I, T2-I, T3-I, T4-I) de la planta, en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero durante todo un día de invierno, influenciada por las pantallas termo-reflectoras. Los valores ilustrados fueron tomados el día 10 de febrero de 2014.

5.2.5. Comportamiento de hojas y racimos de la planta.

El desarrollo de la planta de tomate con manejo hidropónico bajo invernadero fue también evaluada con la variables de distancia entre racimos y entrenudos, y la cantidad de hojas y racimos producidos por estas, y al realizar el análisis estadístico observamos que no hay efecto de las pantallas termo-dinámicas en esta variables ya que no presentan diferencias significativas (Tabla 6), en promedio las plantas desarrollaron 23.5 racimos con una distancia de separación de 25.2 cm y 76.3 hojas con ocho cm de distancia entre nudos (Figura 29).

Tabla 6. Desarrollo vegetativo: distancia y número de racimos y hojas, del cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero en época otoño-invierno influenciado por el efecto de pantallas termo-reflectoras.

Factores	Niveles	Distancia entre racimo (cm)	Numero de racimos	Distancia entre hojas (cm)	Numero de hojas
PANTALLAS (A)	Termodinámica +Aluminet (a_1)	26.61^a	22.62^a	8.11^a	76.81^a
	Termodinámica (a_2)	23.82^b	23.62^a	7.67^a	75.81^a
HÍBRIDOS (B)	Gironda (b_1)	25.89^a	22.75^a	7.94^a	76.68^a
	Gabriela (b_2)	24.58^a	23.50^a	7.84^a	75.93^a
T1	**a_1b_1**	26.61^a	22.12^a	7.85^a	77.62^a
T2	**a_1b_2**	26.60^a	23.12^a	8.57^a	76.00^a
T3	**a_2b_1**	25.18^a	23.37^a	8.03^a	75.75^a
T4	**a_2b_2**	22.56^b	23.87^a	7.32^a	75.87^a

Estudios realizados en cultivos de tomate indeterminado comprueba que el estado fenológico de la planta como es el crecimiento se ve afectado por las diferencias de temperaturas máximas y mínimas, por lo que mantenerlas dentro de un rango optimo (20-25 ºC durante el día y 15-17 ºC durante la noche) denominado para el cultivo, el desarrollo de la planta tendrá una tasa de crecimiento homogénea y mayor (Núñez, *et al.*, 2012).

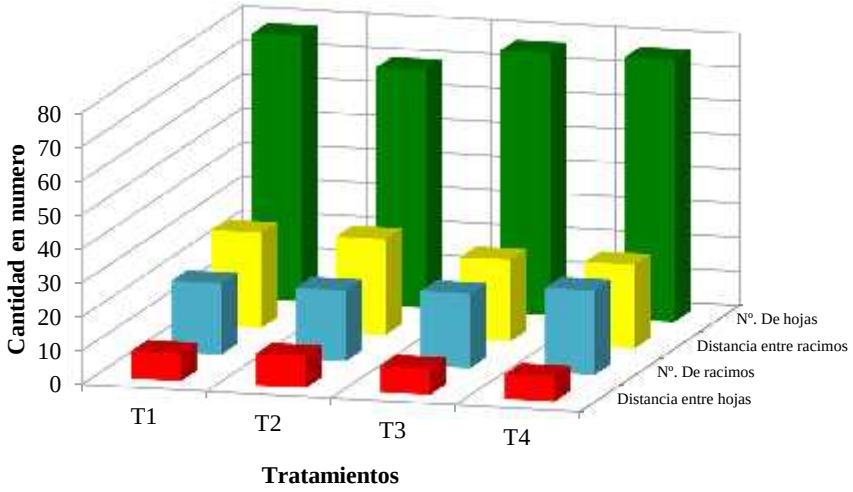

Figura 29. Comportamiento del desarrollo vegetativo del cultivo de tomate hidropónico en invernadero reflejado en la cantidad de hojas y racimos, y la distancia entre hojas y racimos.

5.2.6. Biomasa seca de parte aérea de la planta

La MST, MSP y MSFr de la planta tuvieron diferencias estadísticamente significativas durante su desarrollo fenológico, teniendo como mejor tratamiento el T3 (a_2b_1) en MST y MSP y el T4 en MSFr (Tabla 5). Sin embargo, las variables MSH y MSFl tuvieron diferencias altamente significativas y se comprueba que el tratamiento T4 (a_2b_2) es el mejor en dichas variables (Figura 30).

Al final del estudio se acumuló un peso de la biomasa seca aérea de 856.64 g en promedio el 59.39% corresponde a la materia seca de fruto y el 40.61% restante correspondió a las hojas, tallo, flor y peciolo. Resultados de investigaciones de cultivos de tomate donde evaluaron densidades de población encontraron que la mayor cantidad de materia seca es destinada a la proporción hacia los fruto y menor proporción hacia tejidos foliares (Heuvelink, *et al.*, 2005).

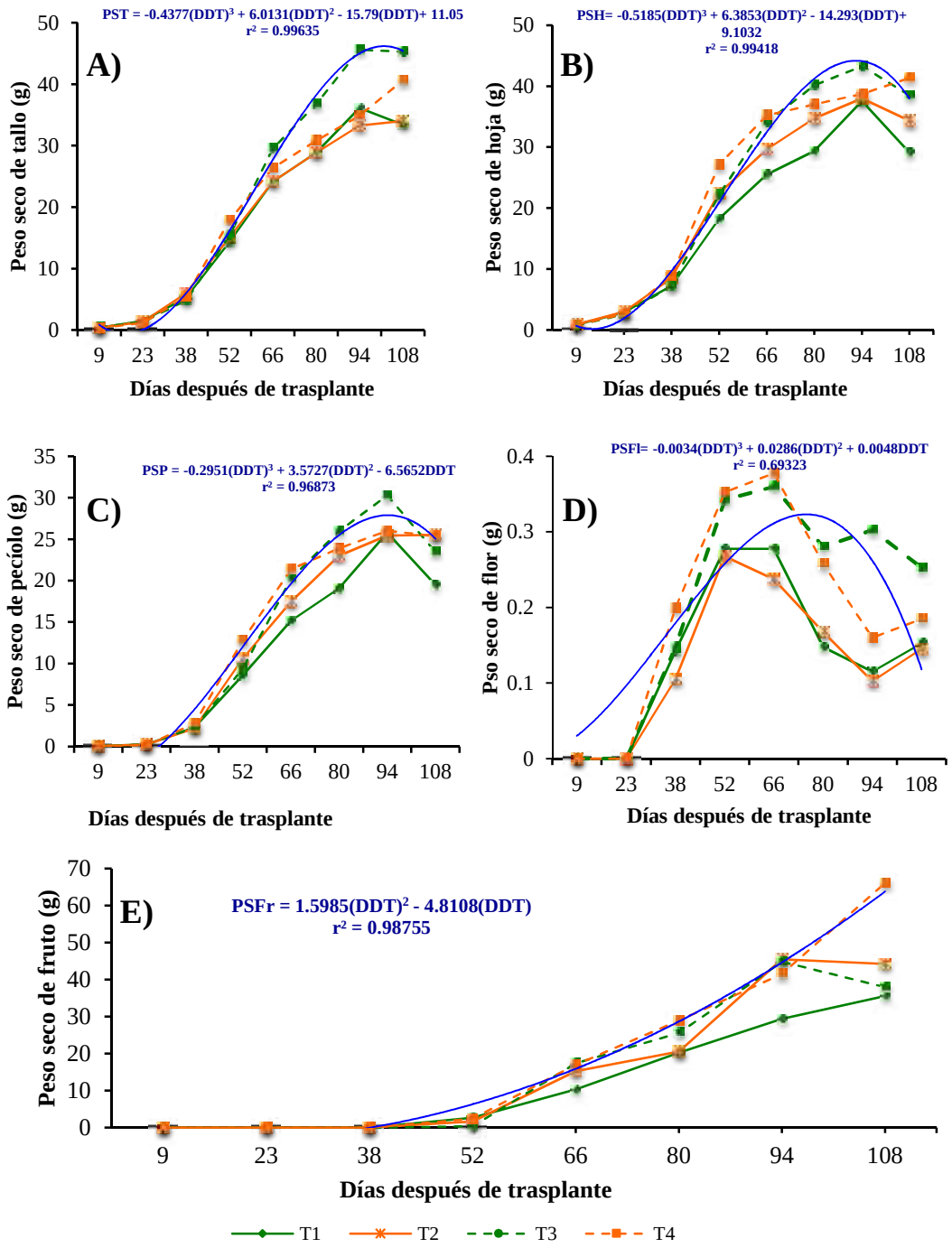

Figura 30. Acumulación de biomasa seca de la parte aérea de la planta durante el periodo de muestreo del ciclo de cultivo de tomate. A) Materia seca de tallo, B) Materia seca de hoja, C) Materia seca de peciolo, D) Materia seca de flor y E) Materia seca de fruto.

5.3. Rendimiento del cultivo de tomate

Los rendimientos y calidad de frutos de tomate hidropónico, fueron influenciados por los tratamientos, ya que de acuerdo al análisis estadístico las pantallas tuvieron efecto positivo en el rendimiento y calidad de fruto presentando diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, y se puede observar en la tabla siete donde se comparan las medias de los diferentes factores y tratamientos, con sus respectivas diferencias significativas.

Tabla 7. Rendimiento y calidad de fruto de tomate con medias de todo el ciclo.

Factores	Niveles	Rendimiento (Kg m^{-2})	*D.E. (mm)	*D.P. (mm)	*CSS (ºBrix)
Pantallas (A)	Dinámica + Aluminet (a_1)	13.684^{b}	58.604^{a}	50.930^{a}	3.804^{a}
	Dinámica (a_2)	17.366^{a}	60.795^{a}	52.552^{a}	3.956^{a}
Híbridos (B)	Gironda (b_1)	12.871^{b}	56.892^{b}	50.617^{b}	3.920^{b}
	Gabriela (b_2)	18.179^{a}	62.556^{a}	52.873^{a}	3.838^{a}
T1	**a_1b_1**	11.415σ^2 4^{c}	55.888σ^2 3^{b}	49.634$\sigma^2$0^{b}	3.782σ^2 0^{b}
T2	**a_1b_2**	15.953σ^2 4^{b}	61.321σ^2 3^{a}	52.225σ^2 0^{a}	3.827σ^2 0^{b}
T3	**a_2b_1**	14.327σ^2 5^{b}	57.897σ^2 3^{b}	51.600σ^2 0^{b}	4.057σ^2 0^{a}
T4	**a_2b_2**	20.405σ^2 4^{a}	63.864σ^2 3^{a}	53.560σ^2 0^{a}	3.849σ^2 0^{b}

* D.E. Diámetro ecuatorial

*D.P. Diámetro polar

*CSS: Concentración de sólidos solubles

5.3.1. Rendimiento fruto

Los rendimientos del cultivo se vieron favorecidos por los tratamientos ya que modificaron la temperatura, humedad relativa, radiación fotosintética y radiación solar, por medio de las pantallas termo-reflectoras. Dichas pantallas adecuan las necesidades del cultivo para dar las condiciones óptimas dentro del invernadero, lo que hace que los rendimientos sean estadísticamente diferentes. Estos resultados coinciden con los de (Fallik, *et al.*, 2009), quienes encontraron que el pimiento morrón cultivado en una región árida bajo mallas sombra de color rojo y amarillo, tuvo un rendimiento de fruta con calidad de exportación significativamente mayor, en comparación con la malla sombra negra del mismo nivel de sombreado (Shahak, *et al.*, 2008).

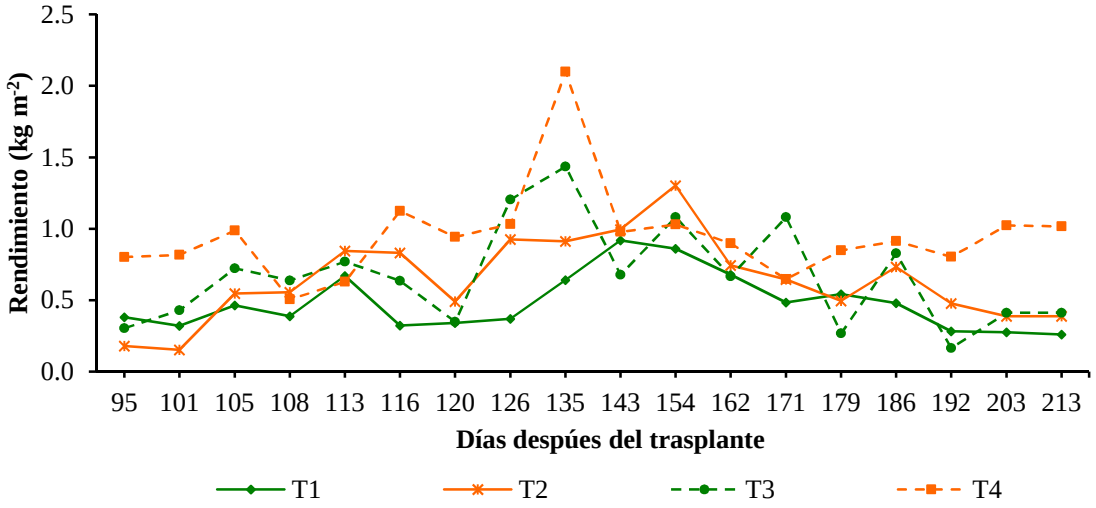

Figura 31. Rendimientos del cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero. A) Rendimientos por corte durante el ciclo de 8 meses.

Los tratamientos T2 y T4 que corresponden a los híbridos de Gabriela fueron los que tuvieron mayor cantidad de producción de frutos por lo que sus rendimiento por metro cuadrado superan con 10.61 kg·m^{-2} a los rendimientos totales del hibrido Gironda. La pantalla termo-dinámica fue la más apta para la época de otoño-invierno ya que favoreció al hibrido Gabriela (T4) para obtener el mayor rendimiento de todos los tratamiento siendo de 204.05 t·ha^{-1} en un ciclo de cultivo de ocho meses en época de otoño-invierno (Figura 31).

Los rendimientos de tomate fueron afectados por las diferentes cantidades y calidades de radiación que fueron modificadas por diferentes mallas, con la finalidad de alcanzar valores altos en los rendimientos totales del cultivo, para comercialización nacional y de exportación (Ayala, *et al.*, 2011).

5.3.2. Calidad de Fruto

La calidad de fruto se vio influenciada por el efecto de los dos factores evaluados (pantallas termo-reflectoras e híbridos) ya que los tratamiento arrojan resultados en los análisis estadísticos con diferencias altamente significativas.

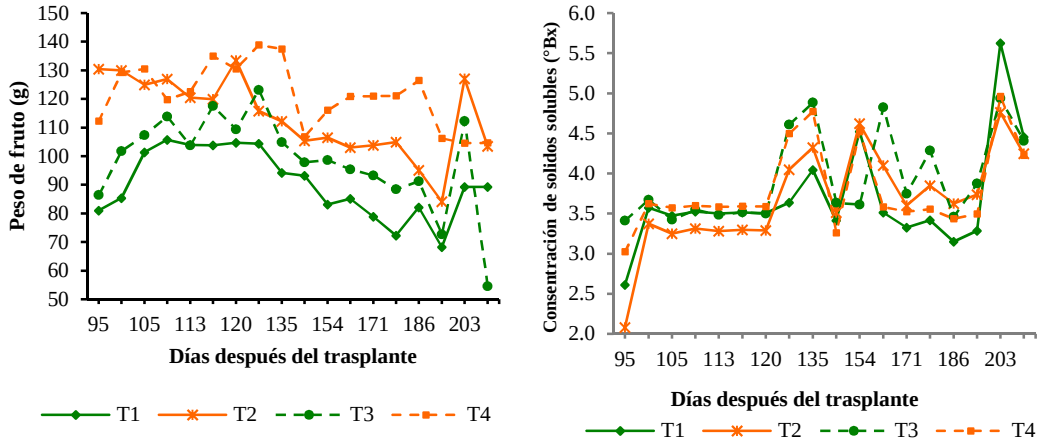

Figura 32. Comportamiento de las variables de peso de fruto y CSS en el cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero, en los diferentes híbridos evaluados con el efecto de las pantallas termodinámicas.

La variable de peso por fruto tuvo diferencias altamente significativas entre híbridos donde los mejores tratamientos fueron los correspondientes al hibrido Gabriela (T2 y T4) con un peso promedio de 110 g por fruto sin verse afectado por las pantallas siendo que el peso promedio de este hibrido es de 150 g. Sin embargo, las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo en la variable de contenido de sólidos solubles donde los tratamiento T3 y T4 presentan los niveles más alto (3.8-4.0 ºBrix), siendo el mejor tratamiento el T4 (a_2b_2) en ambas variables, y por consiguiente obtuvo la mejor calidad (Figura 32).

Un estudio realizado con cultivo de tomate cherry bajo mallas arrojo resultados donde el peso de fruto y diámetro polar y ecuatorial, no son afectados por las mallas (Márquez, *et al.*, 2014). Sin embargo, el contenido de sólidos solubles se puede aumentar en algunos genotipos que tienen potencial genético, y puede también ser afectado por las radiación solar y la temperatura (>30 ºC) (Selahle, Sivakumar, y Soundy, 2014). Según Tinyane, *et al.*, (2013), reportaron que los frutos expuestos a intensidad de luz elevada (> 1000 µmol $m^{-2}s^{-1}$) y a temperaturas inferiores de 40 ºC, en el cuajado de frutos, reduce el CSS.

5.4. Vida de anaquel de frutos de tomate (25 días de postcosecha)

Tabla 8. Postcosecha de frutos de tomate en porcentaje de decremento e incremento desde la cosecha hasta 25 días después.

Factores	Niveles	Temperatura	Decremento en %		Incremento en %
			Peso	Firmeza	CCS de Fruto (ºBx)
T1	a_1b_1	8 ºC	6.21^{b}	54.00^{b}	46.83^{ab}
		21 ºC	8.44^{a}	50.38^{b}	54.44^{a}
T2	a_1b_2	8 ºC	5.44^{b}	58.62^{b}	19.65^{d}
		21 ºC	10.46^{a}	67.91^{ab}	33.72^{b}
T3	a_2b_1	8 ºC	6.05^{b}	35.20^{d}	14.24^{d}
		21 ºC	9.91^{a}	50.92^{b}	44.39^{ab}
T4	a_2b_2	8 ºC	5.81^{b}	46.50^{c}	26.72^{c}
		21 ºC	9.71^{a}	81.77^{a}	28.48^{c}

5.4.1. Comportamiento del peso

En este experimento, la temperatura tuvo un efecto muy marcado en la conservación de la calidad de postcosecha de los frutos en los dos híbridos, es decir, los frutos que estuvieron en refrigeración a 8 °C al final de los 25 DDC presentaron menor pérdida de peso que los frutos que estuvieron a temperatura ambiente promedio de 21 °C. (Figura 33). Los frutos del hibrido Gironda cosechados bajo la pantalla termodinámica más aluminet tuvieron una pérdida de peso del 6.13% a 8 °C y 8.15% a 21 °C, y los frutos del mismo hibrido cosechados bajo la pantalla termodinámica perdieron el 6.03% de peso a 8 °C y a 21 °C perdieron el 9.87% de peso. En los frutos del hibrido Gabriela se observó una tendencia similar que en el hibrido Gironda, los frutos cosechados bajo la pantalla termodinámica más aluminet a 8 °C perdieron 5.42% de su peso y a 21 °C tuvieron una pérdida de peso del 10.34%. Los frutos cosechados bajo la pantalla térmica a 8°C perdieron el 5.74% de su peso y a 21°C perdieron el 9.89% de su peso.

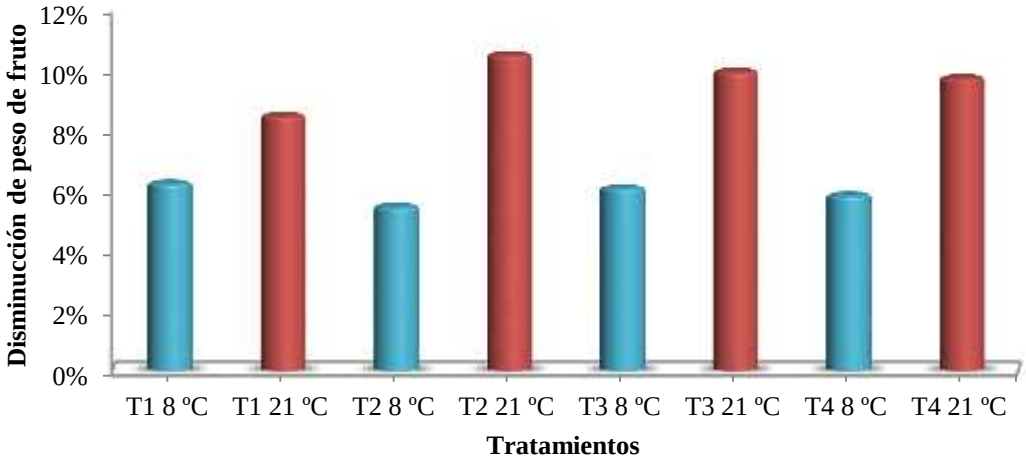

Figura 33. Disminución de peso de frutos de tomate en postcosecha, establecidos a temperatura ambiente y refrigeración.

Los resultados coinciden con Ramírez *et al.,* (2004), al analizar calidad para postcosecha de frutos de tomate cv. Floradade en la cual mantuvieron frutos en refrigeración a 7 y 9 °C y en temperatura ambiental a 27 °C y encontraron que a temperaturas bajas los frutos conservan mayor cantidad de humedad en los tejidos, por lo tanto mayor conservación de peso.

5.4.2. Firmeza de la corteza de fruto

Según los resultados del experimento, los frutos seleccionados para postcosecha de los dos híbridos con efecto de dos pantallas termo-reflectoras sometidos a 8 °C tuvieron menor disminución de firmeza que los frutos establecidos a temperatura ambiente después de los 25 DDC (Figura 34), sin embargo, se mantuvo una mayor firmeza en los frutos de los tratamientos T3 y T4 establecidos bajo la pantalla termodinámica mantenidos a 8°C, en los cuales disminuyeron el 35.56% y 47.3% respectivamente; y a temperatura ambiente se obtuvo una disminución de firmeza del 54.55% y 83.59% en los mismos tratamientos.

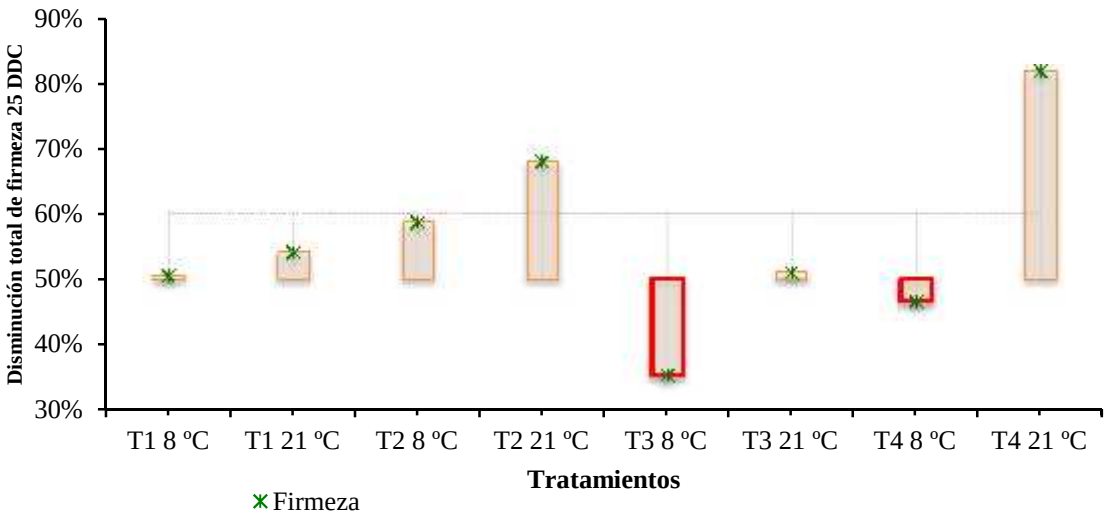

Figura 34. Decremento en porcentaje de la variable de firmeza de frutos de tomate 25 días después de cosecha, con los respectivos tratamientos a temperaturas de conserva y ambiente.

Callejón, *et al.*, (2009) encontraron que los frutos cosechados bajo distintos porcentajes de sombreo de malla aluminet (40, 50 y 60%) mantuvieron mayor firmeza que los frutos cosechados bajo plásticos encalados.

5.4.3. Concentración de sólidos solubles totales (CCS) y pH del fruto de tomate

En esta variable, se observa que no hubo efecto por la pantallas termo-reflectoras tal como indicó Callejón, *et al.*, (2009), sin embargo se observó que hubo diferencias significativas entre híbridos, siendo los frutos de Gironda los que tuvieron mayor porcentaje de aumento de sólidos solubles totales T1: 54.44% y T3: 44.39% cuando se mantuvieron en temperatura ambiente promedio de 21 ºC (Figura 35), en comparación de los frutos establecidos a 8 ºC (T1: 46.83% y T3: 14.24%) este resultado se puede relacionar con el peso de fruto ya que fue menor en este mismo hibrido. Ramírez, *et al.*, (2004), observaron resultados similares al establecer frutos de tomate cv. Floradade en refrigeración a 7 y 9 ºC y en temperatura ambiental a 27 ºC y encontraron que a temperaturas altas los frutos incrementaron la concentración de sólidos solubles totales.

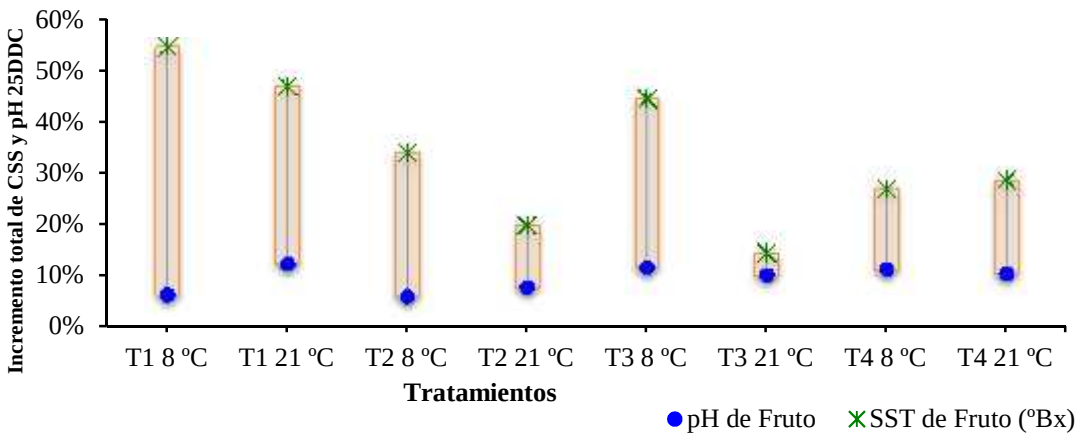

Figura 35. Incrementos totales en porcentaje de los valores de sólidos solubles y pH en frutos de tomate después de 25 días de postcosecha.

Según el ANOVA (Tabla 8), los frutos cosechados de ambos híbridos bajo la pantalla termodinámica más aluminet cuando se establecieron a temperatura de 8 ºC tuvieron el menor incremento de pH después de los 25 DDC (T1: 6.02% y T2: 5.7%); y se observó un efecto contrario en los frutos de ambos híbridos bajo la pantalla termodinámica ya que a 8 ºC el pH incrementó más que a temperatura de 21 ºC (Figura 31). Los resultados coinciden con Callejón, *et al.*, (2009) ya encontraron que los frutos de tomate cosechados bajo plásticos encalados tuvieron mayor pH que los frutos cosechados bajo distintos porcentajes de sombreo de malla aluminet (40, 50 y 60%).

VI. CONCLUSIONES

Las pantallas termo-reflectoras tuvieron un efecto positivo sobre la fisiología y fenometría del cultivo de tomate hidropónico y el microclima, favoreciendo sus necesidades microclimáticas. Siendo la pantalla termodinámica automatizada la más benéfica para la temporada de otoño-invierno en el cultivo de tomate y particularmente en el hibrido Gabriela, debido a que su automatización favoreció a tener mayor control en la cantidad de radiación solar y PAR, y por consiguiente ayudo a tener mayores rendimientos, y frutos de mayor calidad.

VII. SUGERENCIAS

Se recomienda evaluar las mismas pantallas durante el periodo primavera-verano con la finalidad de hacer una comparación y comprobar un mayor efecto positivo de las pantallas sobre los requerimientos agro-climáticos del cultivo de tomate hidropónico. Ya que para la época de otoño-invierno la pantalla termo-dinámica es la más adecuada.

Se recomienda el uso del hibrido de Gabriela para el desarrollo en invernadero y su producción en hidroponía, ya que se obtienen rendimientos mayores a las 250 ton ha^{-1} por año en la época de otoño-invierno y bajo condiciones de invernadero con un manejo eficiente de la condiciones climatologícas. Se aclara que dicho hibrido Gabriela a salido del mercado.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Albaladejo, J. (2001). Control de Clima en los invernaderos. Horticom. Madrid, España. pp. 51-66.

Abad, B., Martínez, P., Martínez, M., y Martínez, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. (Vol. XI). *Actas de horticultura.* pp 141-154.

Abad, B., Noguera, M., y Carrión, B. (2005). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Ed. Mundi-Prensa. Fertiriego. Cultivos Hortícolas, frutales y ornamentales. España. pp. 299-354.

Adlercreutz, E., Huarte, R. D., López, C., Manzo, E., y Szczesny, A. (2014). Producción hortícola bajo cubierta (1ª Edición). INTA, Ed. A. Szczesny, Trans. Buenos Aires, Buenos Aires. pp. 978-987.

Anglés, M. (2001). Control climático y ciclo de cultivo. 19, pp. 28-34.

Ayala, F., Zatarain, D., Valenzuela, M., Partida, L., Velázquez, T., y Díaz, T. (2011). Crecimiento t rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar trasmitida por mallas sombra. (e. C. Revistas Científicas de América Latina, Ed.) Terra Latinoamericana , 29 (4), pp. 403-410.

Baille, A. (1998). Energy Cycle. In:"Greenhouse Ecosystems". pp. 265-268.

Bailey, B. (1978). Heat conservation in glasshouses with aluminised thermal screens (Vol. 76). Acta Horticulturae. pp. 275-278.

Barraza, F., Fischer, G., y Cardona, C. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en el Valle de Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. pp. 81-90.

Cáceres, A. (2014). La especie modelo más avanzada en el progreso genético. Produción y nutrición de hortalizas y frutas, Revista de riego. Vol. 72, pp. 18-21.

Callejón, A. (2003). Efectos del sombreo mediante pantallas aluminizadas sobre el microclima, fisiología producción y calidad de fruto en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo invernadero. Tesis de doctorado. Almería, España: Universidad de Almería. pp. 15-60.

Callejón, A. J., Manzano, F., Díaz, M., Carreño, A., y Pérez, A. (2009). Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato

(solanum lycopersicum L.) under greenhouse conditions. Spanish Journal of Agricultura Research. Vol. 7 (1), pp. 41-49.

Cayón, G. (1992) Fotosintesis y productividad de cultivos. Revista COMALFI. Vol. 19(1). 23-21

Cifuentes, W. E. (2009). Evaluación ambiental de la producción del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España mediante la utilización de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV), 2007-2009. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona, Programa Doctorado en Ciencias Ambientales, Barcelona. pp. 22-30

Cruz, J., Jiménez, F., Ruiz, J., Díaz, G., Sánchez, P., Perales, C. (2003). Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en invernadero. Agronomía Mesoamericana. CIGA-ITA 23, Vol. 14. Oaxaca, México. pp. 85-88.

Desmarais G (1996) Características térmicas de configuraciones con jaulas en un clima tropical de África Occidental. Tesis doctoral, Universidad de McGill

Desmarais G, Ratti C, G Raghavan (1999) modelado de transferencia de calor de screenhouses. Sol Energy 65:271-284

Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, M., Urbina, C., y Martin, A. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) (Vol. IV). (I. CORFO, Ed.) Chile: Nod Hortícola. pp. 10-15.

Fallik, E., Alkalai, S., Parselan, Y., Aharon, Z., Elmann, A., Offir, Y., *et al.* (2009). Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing. Acta Hortic 830, pp. 37-44.

Fontono, W. (1996). Growing media: Types and physical /Chemical properties. In: Water, media and nutrition for greenhouse crops (Reed (ed). ed.). (D. Wm., Ed.) Batavia, Illinois, USA: Ball Publishing.

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

García, E. (2004), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Gonzáles, N. (2006). Avanzan los sistemas hidropónicos en México. (Ed. C.V. de S. A.) D.F., México: Hortalizas, flores y frutos. pp. 16

Heuvelink, E., Bakker, M., Elings, A., Kaarsemaker, R., y Marcelí, L.F., (2005). Effect of leaf area on tomato yield. Acta Horticulturae, Vol. 691 , pp. 43-50.

Hoagland, D., y Arnon, D. (1940). Crop production in artificial culture solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. Soil Science , Vol. 50. pp. 463-485.

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). Buenas practicas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. (FAO) Bogotá: Corpoica. pp. 17-50.

Jensen, M. (2001). Producción Hidropónica en Invernadero. Boletín informativo Nº 12. Universidad Lanolina. Lima, Perú.

Lacarra, A., y García, C. (2011). Validación de cinco sistemas hidropónicos para la producción de jitomate y lechuga en invernadero. Tesis de maestría. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. pp. 4-10.

Márquez, C., Robledo, V., Benavides, A., Vázquez, M. E., De la Cruz, E., y Estrada, M. A. (2014). Shade nets: an alternative to increase the cherry tomato production. (Agropecuarios, ecosistemas y recursos) Producción de tomate bajo malla sombra, Vol.1 (2), pp. 175-180.

Marlow, D. (2012). Humedad en invernadero. Tecnología de invernaderos. Revista eHortalizas. pp 2.

Marín, M. (2001). 2011 Vademécum de Variedades Hortícolas. Portagrano, (Vol. I). (Ed. ECIR) España. pp. 229-237.

Maroto, J.V. (1990). Elementos de Horticultura General. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Masaguer R. A. (2007) 1er Curso Internacional de Actualización en Horticultura Protegida. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Mondragón, L. (2013). Producción de jitomate en invernadero. Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal, Secretaria de Desarrollo Agropecuario. México: Dirección de Apoyo Técnico y Divulgación. pp. 1-38.

Möller, M.; Assouline, S. (2007). Effects of a shading screen on microclimate and crop water requerements. *Irrigation Science , 25* (2), 171-181

Núñez, F., Grijalva, R., Macías, R., Robles, F., y Ceceña, C. (2012). Growth, accumulation and partition in greenhouse tomato. Biotecnia, Vol. XIV, pp. 25-31.

Páez, A., Paz, V., y López, J. C. (2000). Crecimiento y respuestas fisiológicas de las plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Rev. Fac. Agron. (LUZ). pp. 173-184.

Paredes, A. (2009). Manual del Cultivo de tomate en invernadero (1ª edición). Produmedios. ISBN/ISSN 978-958-740-004-5. Colombia. pp. 56.

Pérez, J., Huertado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., y Larín, M. (2012). Cultivo de tomate (Vol. 1). (Ed. CENTA) Arce, San Salvador, El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. pp. 7-14.

Pirard, G., Deltour, J., y Nijskens, J. (1994). Gestion des écrans thermiques en serre (Vol. 103). Plasticulture. pp. 11-22.

Plaisir, H., F. (1992). Ahorro de energia y la mejora del clima con pantallas termicas

Plaisier, F.; W. Schultz, (1991). Kolonisationserfolg von Spinnen (Araneida) und Laufkäfern (Carabidae, Coleoptera) auf der Nordseeinsel Lütje Hörn.- Drosera 1991,

Ponce, P. (2013). Producción de tomate en México. I.T.E.S.M., Rev. eHortalizas. Monterrey, México. pp. 2.

Prenger, J.J. and P.P. Ling. (2000). “Greenhouse Condensation Control.” *Fact Sheet (Series) AEX-800.* Ohio State University Extension, Columbus, OH.

Pulido, M. (2012).Evaluación del uso de pantallas termo-reflectoras en cultivo de rosa para exportación en Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. pp. 23-32.

Raveh E, S Cohen, T Raz, D Yakir, Grava A EE Goldschmidt (2003) Aumento en el crecimiento de los árboles de cítricos jóvenes de menos carga de radiación reducida en un clima semi-árido. J Exp Bot 54:365-373.

Rhoades, J. D. (1988). Intercepting, isolating and reusing drainage water for irrigation to conserve water and protec water quality (Vol. 16). CA, U.S.A.: Agricultural Water Management. pp. 37-52.

Rodríguez, E. (1974). Clasidicacíon Climátologica de Whilhelm Koeppen. In W. Köppen, Climatología. Con un estudio de los climas de la tierra. (Vol. 1º). Chile, Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile. p. 138.

Ross, D.S., Gill, S.A. (1994). Insect screening for greenhouses. Information Facts, University of Maryland at College Perk, FACTS 186, pp 21.

Rossel H, J Ferguson (1979) Un nuevo económico de malla para la investigación del virus en zonas tropicales. FAO Plant Protect Bull 27:74-76

Selahle, M., Sivakumar, D., y Soundy, P. (2014). Effect of photo-selective nettings on post-harvest quality and bioactive compounds in selected tomato cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture , Vol. 10.

Shahak, Y., Gay, E., y Offir, Y., (2008). Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. Acta Hortic, Vol. 797, pp. 75-80.

Steiner, A. A. (1966). The Influence of Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato Plants. Plant and Soil, Vol.24, No.3, (June1966), pp. 454-466, ISBN 0032-079X.

Teitel, M., Segal, L., Shklyar, A., and Barak, M. (1996). A comparison between pipe anda ir heating methods for greenhouse. J. Agric. Engg. Research, 65(4), pp. 297-304.

Tesi, R. (1989). Illiminazione ed ombreggiamiento nelle serre (Vol. 7). Italia: Coulture Prosette.

Tialling, H. (2006). Tomate .Guía de Manejo. Nutrición vegetal de especialidad, (Vol. 1). SQM. The Woldwide Business Formula. (Ed. SQM S.A. y YARA). Chile. p. 8-25.

Tinyane, P. P., Sivakumar, D. y Soundy, P. (2013). Influcence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. (Ed. Scienc Horticulturae) 161, pp. 340-349.

Ubaque, H. (2001). Climatización para el Trópico. Invernaderos y Control Climático. Ed. Colombias. Bogotá, Colombia.

Vázquez, J. (2012). Análisis del índice grado día y del índice de estrés hídrico en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero e hidroponía. Tesis de Maestría. CIQA. Saltillo, Coahuila, México. p. 23-34.

Valera, D., F. Molina y J. Gil (2001). Las mallas como técnicas de control climático en invernaderos. Vida Rural, Vol. 8. Madrid, España. p. 50-52.

Varela, D., Molina, F., Peña, A., y Gil, H. (2008). Ahorro y eficiencia energética en invernaderos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid, España.

Zermeño, A., Montemayor, J. A., Munguía, J., Ibarra, L., y Cadena, M. (2005). Radiation relfective and absortivity in three plant densities and its relation to cord yield. Agrociencia. Coahuila, México. p. 285-292.

Citas de páginas Web:

CONAGUA. (2010). Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatologícas: Consultada el 20 de septiembre se 2014 http://smn.cna.gob.mx/ climatologia/Normales5110/NORMAL05048.TXT

INIFAP. (2014). Variables climatologícas. (SAGARPA-INIFAP). Estación climática de Saltillo: http://clima.inifap.gob.mx. Consultada el 2 de octubre se 2014

FAO. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAOSTAT Dirección de Estadística: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/S. Consultada el 1 de octubre se 2014

FAO. (2011). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAOSTAT: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/ download/Q/QC/S. Consultada el 1 de octubre se 2014

Jensen, M. ; Marlow, D. (2010). Manejo de luz, temperatura y DPV. Consultada el 23 de septiembre se 2014. Disponible en http://www.hortalizas.com/ horticultura- protegida/manejo-de-luz-temperatura-y-dpv/.

SIAP. (2012). SAGARPA. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/2013/PDF/TECNIFICACION/estadistica2012.pdf. Consultada el 20 de septiembre se 2014

SIAP. (2013). SAGARPA. (Anuario estadístico de producción agrícola, y Servicios de Información Agroalimentaria y Pesca) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: http://www.siap. gob.mx/cierre-de-la-producción-agrícola-por-estado. Consultada el 2 de octubre se 2014