

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) CON EL MÉTODO DEL BALANCE HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO, EN UN SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO.

Por:
FELIPE GUTIÉRREZ VÁSQUEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Marzo del 2009.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DEL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill) CON EL MÉTODO DEL BALANCE
HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO, EN UN SISTEMA SEMI-
HIDROPÓNICO.

PRESENTADO POR:
FELIPE GUTIÉRREZ VÁSQUEZ

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA



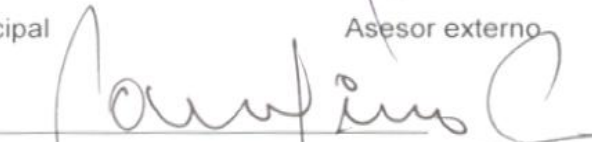
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor principal



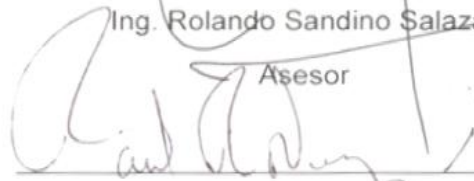
Dr. Juan Munguía López

Asesor externo



Ing. Rolando Sandino Salazar

Asesor



Dr. Raúl Rodríguez García

Coordinador de la División de Ingeniería,
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Marzo 2009



AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas quienes me han brindado su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, durante mi formación como profesional que han querido verme.

*Principalmente a la institución educativa **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”**, y específicamente al departamento de Riego y Drenaje, junto con su planta docente, conforman un todo para obtener un producto que es mi formación profesional.*

*Al Centro de Investigación en Química Aplicada (**C I Q A**), por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de tesis en un proyecto investigación perteneciente al Departamento de Plásticos en la Agricultura cuyo responsable es el Dr. Juan Munguía López del Departamento de Agroplásticos.*

*Al **Dr. Alejandro Zermeño González**, por invitarme a este proyecto de investigación, que tanta falta hace para el mejor aprovechamiento de los recursos que requiere la producción hortícola bajo invernadero.*

*Al **Dr. Juan P. Munguía López**, por su valiosa y amplia experiencia que ha compartido conmigo en este trabajo de investigación; por su amabilidad y paciencia en la revisión de la elaboración de tesis.*

*A la **M.C. María del Rosario Quezada**, por sus aportaciones invaluable en el manejo del cultivo durante el desarrollo del experimento; al **Ingeniero Felipe Hernández Castillo** y al ingeniero **Eduardo Alfonso Treviño López**, por sus valiosos apoyos que me brindaron durante el desarrollo del experimento, sus buenos consejos y motivos que me dieron en los momentos críticos de mi estado de ánimo.*

DEDICATORIA

A mi madre; **Lucía Vásquez Jiménez**, por ser una señora tan maravillosa, que siempre me proporcionó su apoyo incondicional, desde que me vio nacer hasta la culminación de este gran proyecto de formación profesional.

A mis hermanos; **Ignacio Gutiérrez Vásquez, Alberto Gutiérrez Vásquez, Alejandrina Gutiérrez Vásquez, Juan Gutiérrez Vásquez y Zenaida Gutiérrez Vásquez**, a todos les dedico este trabajo de investigación, ya que son personas quienes estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles, económico y anímicamente. Pero con este trabajo realizado, considero que he cubierto las responsabilidades que implica retribuir el apoyo que me han ofrecido estos hermanos tan generosos, y gracias por creer en mis ideales, porque hoy concluyo satisfactoriamente el desarrollo de investigación.

A mi cuñada; **Zenaida González Gutiérrez**, por haber formado parte de la familia Gutiérrez y que también se ha incorporado en los ideas de esta familia, aportando sus consejos y apoyos incondicionales en mi formación profesional.

A mi tía; **Eleuteria Gutiérrez López**, quien ha estado aportando sus buenos consejos, sus motivaciones y apoyos económicos, para mi permanencia en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi novia; **Amalia Vásquez Torres**, por darme su amor, cariño y motivación en los momentos más difíciles del desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| <u>CONTENIDO</u> | <u>PÁGINA</u> |
|---|---------------|
| AGRADECIMIENTO | i |
| DEDICATORIA | ii |
| ÍNDICE GENERAL..... | iii |
| INDICE DE CUADROS | vi |
| INDICE DE FIGURAS | vii |
| RESUMEN..... | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| I.1. OBJETIVO | 2 |
| I.2. HIPÓTESIS..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Generalidades del Cultivo | 3 |
| 2.1.1 Importancia económica y distribución geográfica | 3 |
| 2.1.3 Descripción Botánica | 4 |
| Semillas | 4 |
| Sistema radical | 4 |
| Tallo principal..... | 4 |
| Hoja | 5 |
| Flor | 5 |
| Fruto | 5 |

| | |
|---|----|
| Desarrollo vegetativo | 5 |
| Fructificación..... | 6 |
| 2.2 Fisiología del tomate..... | 6 |
| 2.2.1 Factores ambientales y culturales que afectan la productividad | 6 |
| 2.2.2 Temperatura..... | 7 |
| 2.2.3 Luz | 9 |
| 2.2.4 Humedad relativa | 9 |
| 2.2.5 pH y CE | 10 |
| 2.3 Sistema de cultivo sin suelo bajo invernadero. | 11 |
| 2.4 Ecuación del balance hídrico | 14 |
| 2.5 Eficiencia del uso de agua | 16 |
| 2.6 Sustrato perlita..... | 16 |
| Propiedades y características..... | 17 |
| 2.7 Manejo agronómico del cultivo | 18 |
| 2.7.1 Producción de plántulas | 18 |
| 2.7.2 Trasplante | 19 |
| 2.7.3 Poda..... | 19 |
| Brote lateral | 19 |
| Brote apical..... | 20 |
| 2.7.4 Tutorado..... | 20 |
| 2.7.5 Polinización | 21 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 22 |
| 3.1 Ubicación y Características del Sitio Experimental | 22 |
| Clima | 22 |
| 3.2 Aspectos generales del invernadero..... | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3 | Sistema de riego por goteo dentro del invernadero..... | 23 |
| 3.3.1 | Automatización..... | 24 |
| 3.4 | Consideraciones estadísticas..... | 25 |
| 3.5 | Contenedor del sustrato (perlita)..... | 25 |
| 3.6 | Material vegetativo..... | 25 |
| 3.7 | Marco de plantación..... | 26 |
| 3.8 | Labores culturales..... | 27 |
| 3.8.1 | Poda de hojas..... | 27 |
| 3.8.2 | Poda de tallos..... | 28 |
| 3.8.3 | Entutorado..... | 28 |
| 3.8.4 | Manejo fitosanitario del cultivo..... | 28 |
| 3.9 | Aforo del drenado en los tres tratamientos..... | 29 |
| 3.11 | Parámetros de medición..... | 31 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 32 |
| 4.1 | Riego, drenaje y consumo de agua por las plantas..... | 32 |
| 4.2 | Muestra de materia seca..... | 37 |
| 4.3 | Longitud máxima promedio de las plantas..... | 42 |
| 4.4 | Cosecha..... | 43 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 49 |
| VII. | BIBLIOGRAFIA..... | 50 |
| | Páginas Web..... | 52 |

INDICE DE CUADROS

| CUADRO | | PÁG. |
|---------------|--|-------------|
| 2.1 | Temperaturas críticas en base a la fenología..... | 7 |
| 2.2 | Consumo hídrico en función de la temperatura del medio radical..... | 9 |
| 2.3 | Temperatura óptima para la producción de plántulas..... | 18 |
| 4.1 | Comparación de medias del número de frutos (NF) cosechados en cada corte..... | 45 |
| 4.2 | Rendimiento total del número de frutos del cultivo de tomate bajo invernadero en sistema semi-hidrpónico..... | 46 |
| 4.3 | Comparación de medias del peso de frutos (PF) del tomate híbrido Gabriela, por corte realizado dos veces por semana..... | 47 |
| 4.4 | Rendimiento de producción del tomate por superficie cosechado durante dos meses..... | 48 |
| 4.5 | Rendimiento de producción del tomate híbrido Gabriela extrapolado a seis meses de cosecha..... | 48 |
| 4.6 | Industria del tomate fresco, comparativo cultivados en invernadero, 2004..... | 48 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA | | PÁG. |
|---------------|--|-------------|
| 3.1 | Vista en planta del invernadero donde se desarrolló el trabajo experimental..... | 23 |
| 3.2 | Croquis de la distribución de cama de siembra y línea de riego..... | 24 |
| 3.3 | Detalle del marco de plantación dentro del contenedor..... | 26 |
| 3.4 | Vista del cultivo de tomate híbrido Gabriela después de haber podado las hojas y tallos, bajo invernadero en un sistema de cultivo semi-hidropónico..... | 27 |
| 3.5 | Pluviómetro electrónico Modelo TR-5251 de Texas Electronics, Inc., para el aforo en el tratamiento uno (T1)..... | 30 |
| 3.6 | Captación del agua de riego drenado en los tratamientos dos (T2) y tres (T3), para el aforo manual..... | 30 |
| 4.1 | Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento uno (T1) con 30.31 % de drenaje..... | 33 |
| 4.2 | Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento dos (T2) con 27.29 % de | 34 |

| | | |
|------|---|----|
| | drenaje..... | |
| 4.3 | Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento tres (T3) con 17.04 % de drenaje..... | 35 |
| 4.4 | Temperatura del aire y del sustrato dentro del invernadero durante el desarrollo del estudio..... | 36 |
| 4.5 | Radiación solar total (MJ m ² /día) dentro del invernadero tipo túnel..... | 37 |
| 4.6 | Área foliar (cm ²) en cada tratamiento evaluada a los 74, 102 y 134 días después del trasplante (DDT)..... | 38 |
| 4.7 | Longitud del tallo (LT)..... | 38 |
| 4.8 | Diámetro del tallo (DT)..... | 39 |
| 4.9 | Peso seco del fruto (PSF) en (gr), del cultivo de tomate bajo invernadero y en sistema de cultivo semi-hidropónico..... | 40 |
| 4.10 | Peso seco del tallo (PST) en gramos, de las tres mediciones de cada uno de los tratamientos con diferentes porcentajes de drenaje..... | 41 |
| 4.11 | Peso seco de la hoja (PSH) en gramos, del cultivo de tomate híbrido Gabriela, cultivado bajo invernadero en un sistema semi-hidropónico..... | 42 |
| 4.12 | Longitud máxima promedio del tallo del cultivo de tomate híbrido Gabriela, bajo invernadero en sistema semi-hidropónico, de tres tratamientos con diferentes | 43 |

porcentajes de drenaje.....

4.13 Rendimiento y Tendencia de la producción (kg/m²) del cultivo de tomate bajo diferentes porcentajes de drenaje..... 44

RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó el método del balance hídrico en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) híbrido Gabriela, bajo invernadero de un sistema de cultivo semi-hidropónico, con la finalidad de determinar el volumen de agua diario que se le debe aplicar al cultivo para incrementar su rendimiento con el mínimo consumo de agua. El trabajo se desarrolló durante el ciclo primavera-verano-otoño 2008, dentro de las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) del departamento de Agropásticos a una altitud de 1610 m. El diseño estadístico fue completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos se establecieron con base al porcentaje de drenaje. Para el tratamiento uno (T1) 30% de drenaje, tratamiento dos (T2) 20% de drenaje y tratamiento tres (T3) 10% de drenaje. Emplear el método del balance hídrico bajo invernadero se tuvo que considerar que el proceso de drenado es de flujo estable, para poder obtener la siguiente ecuación: $ET = R - D$, a partir de esta ecuación se pudo conocer el consumo de agua por el cultivo. Al analizar cada uno de los efectos de los tratamientos en los rendimientos del cultivo, se llegó a la conclusión de que el tratamiento dos (T2) con promedio de drenaje de 27.29% resultó el mejor tratamiento, porque permite ahorro de agua comparado con el tratamiento uno (T1) con promedio de drenaje de 30.31%.

PALABRAS CLAVES: Balance hídrico, sustrato perlita, invernadero, riego, drenaje, consumo.

I. INTRODUCCIÓN

Cultivar en invernaderos permite controlar parámetros climáticos, con lo cual se puede influir artificialmente en el control del balance hídrico, permitiendo así establecer las necesidades de riego incrementando el uso eficiente del agua, con el auxilio del sistema de riego localizado y de alta frecuencia. La hidroponía, que a nivel mundial ha tomado gran auge, sobre todo en países como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Holanda, Japón e Israel (Macías Díaz y Lara Herrera, 2001), es uno de los métodos alternativos para el mejor aprovechamiento del agua. La hidroponía se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, perlita, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados (Resh, 2001). Esto permite incrementar el rendimiento y la calidad de las cosechas.

Un aspecto de la irrigación que ha tomado gran importancia en la actualidad, es la programación de riegos, una herramienta valiosa para solucionar una parte del problema del mal manejo del agua en la agricultura. Los requerimientos hídricos de los cultivos bajo condiciones de invernadero son diferentes de los de a campo abierto. Por eso el manejo adecuado del riego en el invernadero es muy importante para conseguir altos rendimientos y alta calidad del producto; esta actividad adquiere mayor relevancia con el uso de sustratos, ya que la cantidad de agua que estos pueden almacenar es muy reducida. En tales condiciones es necesario suministrar con mucha precisión, láminas de riego muy pequeñas y frecuentes. Además, la dinámica del consumo de agua por las plantas en el interior del invernadero está sujeta a cambios de corto plazo en el clima. En los sistemas de producción semi-hidropónico, es necesario establecer un balance hídrico muy preciso para determinar el consumo de agua de las plantas y los volúmenes de agua diario que se deben suministrar.

I.1. OBJETIVO

- Aplicar el balance hídrico, para determinar el volumen de agua diario que se debe suministrar al cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), mejorando su productividad con el mínimo consumo de agua.

I.2. HIPÓTESIS

- Con la aplicación del balance hídrico diario, se aumenta la eficiencia del uso de agua y mejora la productividad del cultivo de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del Cultivo de Tomate

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países sólo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y los portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, de ahí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá.

2.1.1 Importancia económica y distribución geográfica

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia en el mundo, debido que a partir de esto se pueden obtener un sinnúmero de subproductos. Mundialmente ocupa el segundo lugar al ser superado solo por la papa, en México es uno de los cultivos hortícolas más importantes en cuanto a generación de divisas ya que cerca del 30% de la producción nacional se exporta, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU) por lo que su cultivo depende significativamente del comportamiento del mercado internacional.

2.1.3 Descripción Botánica

La planta se puede comportar como anual o semiperenne en regiones tropicales. Basándose en el hábito de la planta, esta puede ser de crecimiento determinado o indeterminado. Teóricamente se dice que todos los tipos indeterminados son plantas perennes y los de tipo determinado son anuales (Papadopoulos, 1991).

Semillas

De forma lenticular, con un diámetro de 3 a 5 mm, constituida por el embrión, el endospermo y la testa. El embrión está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula. La absorción del agua a través de la testa de la semilla es esencial para el proceso que promueve la germinación.

Sistema radical

La función de la raíz es la absorción y transporte de nutrientes, así como el anclaje de la planta al suelo o sustrato. El sistema radicular está constituido por una raíz principal, raíces secundarias y raíces adventicias. Internamente tiene bien diferenciadas tres zonas: la epidermis, el córtex y el cilindro central o vascular (Chamorro, 2001; Cadenas *et al.*, 2003; Suarez, 2006).

Tallo principal

El diámetro típico de un tallo puede variar de 2 a 4 cm en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis. Debajo de la epidermis se encuentra el córtex, mientras que las más internas son de tipo colenquimático y dan soporte al tallo. En la parte superior del tallo principal está ubicado el meristemo apical, donde se presenta una gran actividad celular y se inician los primordios foliares y florales. Tiene forma de cúpula y está protegido por las hojas recién formadas (Chamorro, 2001; Suarez, 2006).

Hoja

Presenta hojas pinadocompuestas. Tiene un foliolo terminal y hasta ocho foliolos laterales que a su vez pueden ser compuestas. Son peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados (Chamorro, 2001; Suarez, 2006). Las hojas compuestas se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna (Rodríguez *et al.*, 2001; Suarez, 2006).

Flor

La flor del tomate es perfecta, regular o hipógina, consta de cinco o más sépalos, de cinco o más pétalos dispuestos de forma helicoidal, de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso. Frecuentemente, el eje principal se ramifica por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta.

Fruto

Es una baya globosa o piriforme, que presentan una coloración generalmente roja en su maduración. El tamaño del fruto y la calidad del mismo están genéticamente condicionados por la variedad, actividad fotosintética de la planta, número de semillas, posición del fruto en el racimo, posición del racimo en la planta, variables climatológicas y manejo cultural de la planta. La superficie de la baya puede ser lisa o acostillada y en su interior delimitan los lóculos carpelares que pueden variar entre dos y treinta. La placentación puede o no ser regular. El diámetro de los frutos varía entre 3 y 16 cm (Maroto, 2002; Suarez, 2006).

Desarrollo vegetativo

El crecimiento de la planta se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia. Los sucesivos segmentos del tallo se desarrollan de forma similar, produciendo una inflorescencia a un intervalo de tres hojas. Cuando este proceso se

repite indefinidamente los cultivares se denominan indeterminados, y el tallo principal puede crecer más de 10 metros por año, con un porte rastrero o trepador.

El desarrollo de la planta depende de numerosos factores, entre los que cabe mencionar la variedad, la iluminación, la temperatura, la nutrición, el suministro de agua y concentración de CO₂, que actúan en un complejo entramado de interacciones.

Fructificación

La diferenciación y desarrollo de la flor constituyen etapas previas a la fructificación, que puede tener como consecuencia, todos los factores adversos en la precocidad, rendimiento y calidad del fruto. La floración es un proceso complejo afectado por numerosos factores entre los que se mencionan la variedad, la temperatura, la iluminación, la competencia con otros órganos de la planta, la nutrición mineral y los tratamientos con reguladores de crecimiento. El hábito de ramificación de la planta también tiene una influencia determinada sobre la floración. Las condiciones ambientales pueden afectar de forma importante la diferenciación y desarrollo de la flor (León y Arosamena, 1980; Suarez, 2006).

2.2 Fisiología del tomate

2.2.1 Factores ambientales y culturales que afectan la productividad

El tomate es un cultivo de clima cálido, por lo que no presenta ninguna dificultad de su establecimiento en los periodos de primavera-verano, sin embargo, en algunas regiones su cultivo dura casi todo el año, lo cual puede representar pequeños inconvenientes si la zona presenta bajas temperaturas y días cortos (invierno) y de igual forma, las altas temperaturas y humedad relativa baja (verano).

2.2.2 Temperatura

Las temperaturas elevadas en el momento de apertura floral y amarre, pueden provocar la caída de flores y de frutos, así como podredumbre apical. Además, la incidencia de temperaturas bajas puede ocasionar problemas en la fertilización de los óvulos.

(Cadenas *et al.*, 2003; citado por Suarez, 2006) hacen mención sobre las temperaturas críticas para el cultivo de tomate siendo éstas las siguientes;

Cuadro 2.1 Temperaturas críticas en base a la fenología.

| | Temperatura | | |
|-------------|-------------|-----------|--------|
| Germinación | Mínima | máxima | óptima |
| | 10 °C | 25 a 30°C | 25 °C |

| Etapas fenológicas | Temperatura |
|-----------------------|-------------|
| Nacencia | 18°C |
| Primeras hojas | 12°C |
| Desarrollo diurno | 18 a 21°C |
| Desarrollo nocturno | 15 a 18°C |
| Se hiela la planta | 2°C |
| Detiene su desarrollo | 10 a 15°C |
| Mayor desarrollo | 20 a 24°C |
| Floración diurna | 23 a 26°C |

| | |
|---------------------------|---------------|
| Floración nocturna | 15 a 18°C |
| Maduración fruto rojo | 15 a 22°C |
| Maduración fruto amarillo | mayor de 30°C |

| | Temperatura | | |
|-------|-------------|-----------|--------|
| Suelo | Mínima | máxima | óptima |
| | 12°C | 20 a 24°C | 34 °C |

Serrano (1978), menciona que la actividad vegetativa del tomate se paraliza con temperaturas inferiores a 10°C durante 24 horas. Y con temperaturas superiores a 35°C, si la humedad relativa es baja, puede deshidratarse la planta, con temperaturas similares y humedades relativas altas, ocasiona que la planta se deshidrate, cuando las plantas están en floración causando una mala fecundación.

Muñoz (2003), menciona que la temperatura óptima para el desarrollo del tomate es de 23 a 25°C y de 15 a 17°C durante el día y la noche respectivamente, y una humedad relativa del 70 por ciento.

La temperatura del medio radical debe mantenerse dentro de un intervalo razonable, si la temperatura de la disolución nutritiva es muy baja, la absorción de agua y nutrientes se reduce y el crecimiento de las plantas también (Cave, 1991), que unido a una carencia de oxígeno tiene un efecto negativo en la productividad de los cultivos (Cockshull, 1998). Aumentos en la temperatura radical contribuyen no sólo a incrementar el consumo de elementos nutritivos, sino que indirectamente las emisiones de éstos al medio y la CE de los drenajes disminuyen, con lo que la cantidad de agua utilizada para lavado también puede ser menor (Urrestarazu *et al.* 2002).

Cuadro 2.2 Consumo hídrico en función de la temperatura del medio radical.

| Especie | Referencia | °C | L planta ⁻¹ día ⁻¹ |
|---------|------------------|----|--|
| Tomate | Cornillon (1987) | 12 | 0.96 |
| | | 15 | 2.06 |
| | | 18 | 2.45 |
| | | 30 | 2.34 |

2.2.3 Luz

La energía solar radiante es el factor ambiental que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento de las plantas cultivadas en el interior de un invernadero, la luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas como fuente de energía para la asimilación fotosintética del CO₂, así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de las plantas.

El tomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, requiere de entre 8 y 16 horas de luz, aunque necesita buena iluminación (se comporta bien en un rango de 3000 – 6000 lux) poca iluminación reduce la fotosíntesis neta, e implica mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Suarez, 2006).

2.2.4 Humedad relativa

Es un aspecto importante que se debe de tomar en cuenta para el cultivo de tomate, sobre todo en la dehiscencia polínica y la consiguiente polinización, siendo el rango más adecuado entre 55 y 69% (Maroto, 2002). Humedades relativas muy altas favorecen el desarrollo de enfermedades

aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación. De igual manera, la humedad relativa menor a 50% no hay una buena retención de los granos de polen y las flores se desprenden de la planta (Martínez, 2007). Humedades relativas superiores a 90%, favorecen el desarrollo de las enfermedades fúngicas (Nuez, 1995).

La variación de humedad del aire en distintos puntos del invernadero es de gran importancia para justificar las diferencias de consumo de agua según las plantas estén más o menos próximas a las ventanas que permiten la ventilación. Los valores registrados en invernaderos tradicionales oscilan entre 0.2 *kPa* durante el medio día (90% de humedad) durante el periodo nocturno en otoño-invierno, y próximos a 3 *kPa* durante el medio día solar en primavera-verano y frecuentemente en los inicios del cultivo (poca masa foliar) (Salas *et al.*, 2001).

2.2.5 pH y CE

Este cultivo está clasificado como una hortaliza que tolera acidez, puede desarrollarse bien con pH entre 6.5 a 7.5. Las condiciones climáticas influyen sobre la variación en el equilibrio de la solución de riego. En épocas de intensa radiación la solución del sustrato suele aumentar su CE con facilidad y será necesario contrarrestarlo aumentando el número de riegos, o reduciendo la CE de la disolución, lo que por un lado facilitará la absorción radical y, por otro, evitará mayores concentraciones salinas del sustrato.

Cada fertilizante contribuye de manera diferente a incrementar la CE de la solución nutritiva. Sin embargo, Burgueño (1999), menciona que la solución nutritiva es el componente fundamental de los cultivos en sustrato bajo invernaderos, y que además constituye el único vector de la alimentación hidromineral de los vegetales, la cual varía según la etapa fenológica y la especie cultivada. La composición química de la misma se determina por las proporciones relativas de cationes y aniones; la concentración total de iones se expresa en CE, siendo la óptima de 2.5 – 3

dSm⁻¹ y por el pH; que determina la disponibilidad de elementos nutritivos, siendo un pH óptimo de 5.5 – 6. En experimentos realizados con tomate larga vida bajo invernadero en el sureste peninsular de España se ha obtenido un valor umbral en torno a 3,5 dS m⁻¹ (Magán, 2005).

Calderón (2001), menciona que un pH levemente ácido reduce la disponibilidad de Mn, Cu, Zn y especialmente Fe, en pH más altos, se registra una disminución pequeña de la disponibilidad de P, K, Ca y Mg.

Lara (2000), sugiere que el parámetro que pocas veces se toma en cuenta es la temperatura de la solución nutritiva, la cual influye en la disponibilidad de nutrientes, siendo la óptima de 22°C y la mínima de 15°C, además considera que un manejo inapropiado de la solución afecta la nutrición de la planta y por ende el rendimiento y calidad del fruto.

2.3 Sistema de cultivo sin suelo bajo invernadero.

Comercializadores de invernaderos en México, indican que nuestro país cuenta con aproximadamente seis mil 500 has de invernaderos, de las cuales más del 50 por ciento corresponden a casas sombra; 48 por ciento a invernaderos de plástico y únicamente el uno por ciento son estructuras de vidrio.

La utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas sencillos de control climático, equipos de riego fertilización automatizados, etc., se ha difundido ampliamente con el fin de mejorar el crecimiento y el desarrollo de la planta del tomate y, consecuentemente, de aumentar la productividad e incrementar la calidad de los frutos (Nuez, 2001). Unido a este cambio tecnológico, se viene produciendo una sustitución gradual del cultivo tradicional en el suelo por el cultivo en sustrato. Los sustratos empleados en hidroponía suelen tener una capacidad de retención hídrica

muy baja por lo que es preciso realizar numerosas aportaciones de agua en tiempos muy pequeños.

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, ya sea natural o de síntesis, residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desarrollando el papel de soporte para la planta. Se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se encuentre a presión atmosférica (Serrano, 2004).

Es indispensable concebir a los sustratos en contenedor como un sistema formado por tres fases:

- sólida la cual asegura el anclaje del sistema radical y la estabilidad de la planta.
- líquida que asegure el suministro de agua y nutrimentos a la planta.
- gaseosa que asegure el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono entre las raíces y el medio externo.

La principal razón de esta sustitución ha sido la existencia de los factores limitantes para la continuidad del cultivo intensivo del tomate en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas (Nuez, 2001).

Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: 1) cultivos en sustrato; 2) cultivos en agua (hidropónicos) y 3) cultivos en aire (aeropónicos).

Los cultivos en sustrato según el manejo al que se ven sometidos, pueden funcionar por inundación periódica del sustrato, ya sea por subirrigación, con recogida del retorno en la misma donde se guarda la solución nutritiva, o distribuyendo la solución nutritiva mediante sistemas de goteo.

Los sustratos que se caracterizan por su baja capacidad para retener el agua y los nutrientes (grava y perlita expandida) requieren un aporte de agua y soluciones nutritivas continuas. Los sustratos más utilizados son: lana de roca, perlita expandida, fibra de coco, arena y tezontle.

En la conducción del cultivo sin suelo al igual que en un cultivo en suelo, se deben controlar todos los factores que interactúan con el rendimiento, sólo que por medio de esta técnica es más eficaz el control de los factores relacionados con la nutrición de la planta, teniendo la ventaja de que se puede modificar rápidamente el pH, la CE del medio donde se desarrolla la raíz y por ende un control total sobre la nutrición de la planta.

Dado que el cultivo hidropónico se basa en mantener la planta en condiciones óptimas de agua y de nutrientes, el manejo del riego debe responder a este planteamiento. Por ello, no es recomendable para las plantas cultivadas en sustratos que absorban agua a tensiones que superen los 50 cm de c.a. (límite superior del agua fácilmente disponible) o que incluso muy frecuentemente se agote el agua que está retenida a más de los 100 cm de c.a. (límite superior del agua de reserva).

Magan (2005), menciona que hay que aportar el agua que necesita la planta en dosis suficientemente pequeñas para no agotar excesivamente el contenido hídrico del sustrato y, a su vez, no se debe humedecer en exceso ya que esto favorece la asfixia radicular y el desarrollo de hongos fitopatógenos.

2.4 Ecuación del balance hídrico

La aplicación de la ecuación del balance hídrico en un sistema de cultivo en suelo, permite el cálculo de la evapotranspiración (ET) durante un tiempo dado. El concepto de ET integra el proceso de evaporación desde el suelo y el de transpiración de las plantas. La ET es igual a la diferencia entre las entradas [riego (R), lluvia (LL)] y las salidas [filtración o ascenso capilar (D), escurrimiento (Es), variación en el periodo considerado del contenido de humedad del suelo (DHs)] (Castilla, N. 1986). Lo cual se puede expresar matemáticamente como la siguiente ecuación:

$$ET = R + LL - (D + Es + AHs) \dots\dots\dots(1)$$

El riego por goteo permite manejar dosis de alta frecuencia, con lo que DHs es aproximadamente cero, al igual que el escurrimiento (Es), ya que el sustrato está envasado en un contenedor de polietileno, que evita la infiltración del agua de riego. Además no hay presencia de lluvia, porque el experimento se estableció dentro de un invernadero con cubierta plástica, lo cual evita la entrada de agua al interior del invernadero. Finalmente la ecuación del balance hídrico queda como la siguiente:

$$ET = R - D \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

ET = Transpiración, ya que no existe evaporación en el sustrato, debido a la bolsa de polietileno que lo cubre, (L).

R = Riego o Volumen de de agua aplicado al cultivo, (L).

D = Drenaje o Volumen de agua drenado, (L)

La ET es el consumo de agua por las plantas, considerando que en este sistema de cultivo es un flujo.

Una vez que se obtienen los volúmenes de aplicación y drenado, se calcula el porcentaje de drenaje con la siguiente ecuación:

$$\%D = (Vd / Va) \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

%D = porcentaje de drenaje (%).

Vd = Volumen drenado (L).

Va = Volumen aplicado (L).

Con la ecuación “3”, se estuvo estimando la frecuencia y tiempo de riego para poder lograr una aproximación del porcentaje de drenaje establecido en los tres diferentes tratamientos.

Moreno (2003), afirma que los porcentajes de drenaje no se ven influidos por las distintas dotaciones de riego, o lo que es lo mismo, por los distintos porcentajes de agotamiento de la reserva, lo cual desvanece la falsa creencia de que tiempos de riego largos producen mayores porcentajes de drenaje.

García 1992, considera que la aplicación de riego a un nivel de drenaje entre el 10 y 20% es la más adecuada por ser más eficiente en el uso del agua, que el nivel entre el 20 – 30%.

2.5 Eficiencia del uso de agua

Eficiencia de uso de agua (EUA) y de nutrimentos es la relación existente entre el rendimiento comercial (Y) o económico de un cultivo por unidad de agua o de nutrimento utilizada por este (Fernández y Camacho 2005). De esta forma surge el índice $EUA_Y = Y/ET$, donde ET es la evapotranspiración. Para cultivos en saco con sustratos (Jovicich *et al.* 2007) consideran solo a la transpiración, ya que la evaporación no existe mientras el drenaje adquiere importancia, por lo cual es conveniente mantener el nivel de nutrimentos en el medio radical.

La frecuencia de riego y la dotación de cada Fertirriego dependen, en primer lugar, de la capacidad de retención de agua disponible del sustrato (agua fácilmente disponible más agua de reserva) y, en segundo lugar, de la demanda del cultivo que a su vez depende del ambiente. En general, se debe regar cuando el sustrato ha perdido entre un 5 a un 10% del agua total disponible (Smith, 1987). Siguiendo ese criterio, el volumen suministrado aumentará a medida que las plantas crecen y que la transpiración aumenta según demanda por factores climáticos. El suministro debe aumentarse con una mayor frecuencia de riegos, y la misma dotación, y no con dosis mayores y frecuencia constante, puesto que el sustrato no será capaz de retener más agua, sino con una mayor dosis sólo aumentaremos el volumen de drenaje y en consecuencia lavaremos sales, es decir, hay que fijar la dotación de riego, resolviendo la mayor necesidad hídrica por incremento de la demanda con una mayor frecuencia de riego.

2.6 Sustrato perlita

Básicamente es un silicato alumínico de origen volcánico y de composición variable, que depende de las características de la roca volcánica original. Se comercializan distintos tipos de perlita para el cultivo

hidropónico, que se diferencian en la distribución del tamaño de sus partículas y en su densidad (Marfa, *et al.*, 1993).

- Tipo A-13, constituido por la fracción gruesa (3-5 mm; 100-120kg/m³).
- Tipo B-12, formado por las fracciones medias y gruesas, junto con las finas (0-5 mm; densidad 105-125 kg/m³).
- Tipo B-10, de textura intermedia (0-3 mm; densidad 105-125 kg/m³).
- Tipo B-9, constituido por las fracciones finas (0-1.5 mm; densidad 80-90 kg/m³).
- Tipo B-6, constituido por las fracciones finas, pero con una densidad inferior (0-1.5 mm; densidad 50-60 kg/m³).

Propiedades y características

La perlita conforma una estructura celular cerrada. Su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie. Debido a esta estructura celular cerrada, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas o en los poros existentes entre dichas partículas, siendo liberada a muy bajas tensiones. En consecuencia, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice ampliamente como componente de aireación en los sustratos de cultivo (Bunt, 1988).

Los tipos intermedios, y muy especialmente el B-12, muestran valores muy interesantes (equilibrados) de aireación y retención de agua. Comprende todo el intervalo granulométrico, presuponiendo un manejo del riego bastante sencillo y sin riesgos de asfixia o de déficit hídrico (Marfa, *et al.*, 1993; Martínez y García, 1993).

2.7 Manejo agronómico del cultivo

En el sistema de producción de tomate en ambiente protegido, se pretende lograr altos rendimientos por unidad de superficie, a través del control de gran parte de los factores climáticos que inciden en ella.

2.7.1 Producción de plántulas

Centeno (1986), designan el término *plántula* a la planta pequeña producida por semilla, de pocas semanas de edad, y que se utilizan en los cultivos de trasplante para establecer el plantío definitivo en campo. Es necesario producir plántulas que resistan los rigores del manejo de trasplante, sobrevivan al estrés del movimiento de ambientes protegidos hacia ambientes por establecer y reinicien el crecimiento activo inmediatamente después de ser trasplantado y produzcan rendimientos aceptables sin reducciones comparados con métodos alternativos de establecimiento (Mazariegos, 2006).

Cárdenas *et al.* (2003) mencionan que los valores de temperatura a considerar en la producción de plántula de tomate son:

Cuadro 2.3 Temperatura óptima para la producción de plántulas.

| | |
|---|------------|
| Óptima de germinación | 25 a 30 °C |
| Óptima de emergencia | 18°C |
| Óptima en desarrollo de primeras hojas verdaderas | 21°C |
| Desarrollo diurno | 18 a 21°C |
| Desarrollo nocturno | 15 a 18°C |
| Óptima en desarrollo | 20 a 24°C |

2.7.2 Trasplante

Leskovar (2001), menciona que la capacidad de un trasplante a superar el shock, depende de cómo las plántulas soportan los cambios estructurales y funcionales de la raíz, de la capacidad radicular de absorción de agua y nutrientes, y de la capacidad de regeneración de nuevas raíces.

Para lograr uniformidad de crecimiento en tiempo y espacio, un trasplante de alta calidad debe tolerar el manipuleo durante la operación de trasplante y estar bien aclimatado a condiciones extremas del campo. La finalidad es que el trasplante sea capaz de continuar rápidamente su crecimiento radicular y disminuir el lapso de tiempo expuesto al shock para retomar su crecimiento vegetativo, y así poder alcanzar el potencial máximo de productividad.

2.7.3 Poda

Hojas. En el sistema de producción intensiva de tomate, la poda de hojas es obligada. De no realizarse esta práctica, se genera un microambiente de alta humedad relativa en la parte inferior de las plantas que, por un lado, es propicio para el desarrollo del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y botritis (*Botrytis cinérea*) y, por otra parte, disminuye la penetración de luz, lo cual retarda la maduración de los frutos (Pérez y Castro, 1999).

Brote lateral

Las plantas de crecimiento indeterminado se caracterizan por su largo ciclo de vida y que cada una de sus brotes origina una nueva planta también de crecimiento indeterminado. El problema de dejar desarrollar todos los brotes es la gran competencia que se genera, al interior de la planta, por agua, luz y nutrimentos. Para evitar que esto suceda, las plantas se pueden podar a uno, dos o tres tallos, siendo éstos los que van a desarrollar los frutos. Si se deja a la planta a un solo tallo, los brotes laterales que van apareciendo se van eliminando; es recomendable la poda semanal o cuando

los brotes tienen de 5 a 10 cm de longitud. Las heridas causadas por la poda se deben desinfectar con algún fungicida en solución concentrada o en forma de pasta. O bien, cuando son superficies extensas, se puede hacer una aplicación de fungicida foliar después de terminar la poda (Gil y Miranda, 2000; citado por Bautista, 2005).

Brote apical

Los materiales de crecimiento indeterminado tienen una yema vegetativa en la parte apical del tallo principal que permite el crecimiento continuo de la planta, por lo que el sistema de tutores no permite la conducción de la planta a más de diez racimos. Por lo tanto, es necesario eliminar la yema apical y dejar dos o tres hojas encima del último racimo floral (Pérez y Castro, 1999).

2.7.4 Tutorado

El entutorado se sustenta de un entramado de alambre, amarrado con la estructura del invernadero o de forma independiente con porterías. Generalmente, para cada planta se emplea un hilo de plástico (rafia de polipropileno), el cual se une a la planta por anillos de sujeción o liándolo al tallo. En la parte superior, el hilo se ata en un gancho que recoge enrollado el resto del hilo, que irá soltándose al crecer la planta para ciclos largos. En este sistema, debe evitarse que la parte horizontal de los tallos roce con el suelo, la disposición de los tallos puede hacerse ligeramente inclinada (alternando la inclinación en plantas adyacentes), y no vertical, a fin de conseguir la máxima interceptación de radiación solar por el cultivo. El apoyo directo sobre los alambres puede producir lesiones al tallo, por lo que es preferible atarlo con cinta de plástico, sujetarlo con anillos o mediante un procedimiento similar (Nuez, 2001).

2.7.5 Polinización

Se fundamenta que con fotoperiodo menor de 8 horas o baja radiación, las flores abortan. La polinización ocurre cuando la temperatura nocturna es entre 13 y 24°C y cuando la temperatura del día es de 15.5 a 32°C. Temperaturas más altas o más bajas, particularmente en la noche, provocan que las flores caigan sin tener fruto (Bautista y Alvarado, 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y Características del Sitio Experimental

El estudio se desarrolló dentro de las instalaciones del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo-Coahuila; con las coordenadas de 25° 27' Latitud Norte, 101° 02' Longitud Oeste y una altitud de 1610 m. El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano-otoño, 2008.

Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen, modificada por García (1987) el clima de Saltillo es seco estepario, con fórmula climática BsoK(x')(e').

Donde:

- Bso: es el clima más seco de los Bs.
- K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18°C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18°C.
- (x'): Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.
- (e'): Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14°C.

En general la temperatura y precipitación media anual son de 18°C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre julio y septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm,

presentándose las más altas en los meses de mayo y junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.2 Aspectos generales del invernadero

El experimento se realizó en un invernadero de tipo túnel, con una superficie de 105.36 m², de 14.20 m de largo (este-oeste), y 7.42 m de ancho (norte-sur) como se aprecia en la Figura 3.1, de estructura metálica combinado con madera en la parte frontal. El invernadero cuenta con cubierta plástica de 200 micras de espesor, además está equipado con dos extractores de aire caliente de 1.5HP, dos ventiladores de flujo horizontales de 0.5HP, pared húmeda de 1.20 X 5.67 m, un calefactor de gas, controladores de riego automático Rain Bird E- 6c y malla aluminet.

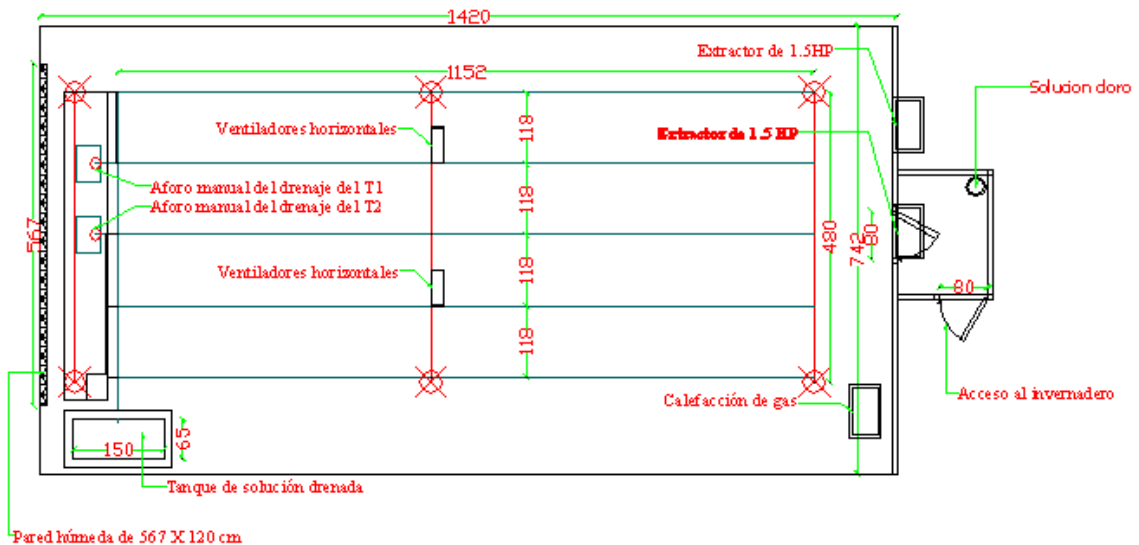


Figura 3.1 Vista en planta del invernadero donde se desarrolló el trabajo experimental. Las acotaciones están en cm.

3.3 Sistema de riego por goteo dentro del invernadero.

Para el sistema de riego se utilizó poliducto de $\frac{3}{4}$ de pulgada, a lo largo de cada cama de cultivo. En cada línea se utilizaron 33 goteros autocompensados de 4 LPH, 33 distribuidores de 4 salidas, 66 tubines de 50

cm aproximadamente, 66 goteros de tipo estaca con descarga de 2 LPH, 3 válvulas solenoides, 3 controladores Rain Bird E-6c para la programación de riego, 3 relevadores, además los respectivos Tees y codos de 90°. En la Figura 3.2, se muestra la distribución de la cama de siembra y línea de riego de cada tratamiento definido.

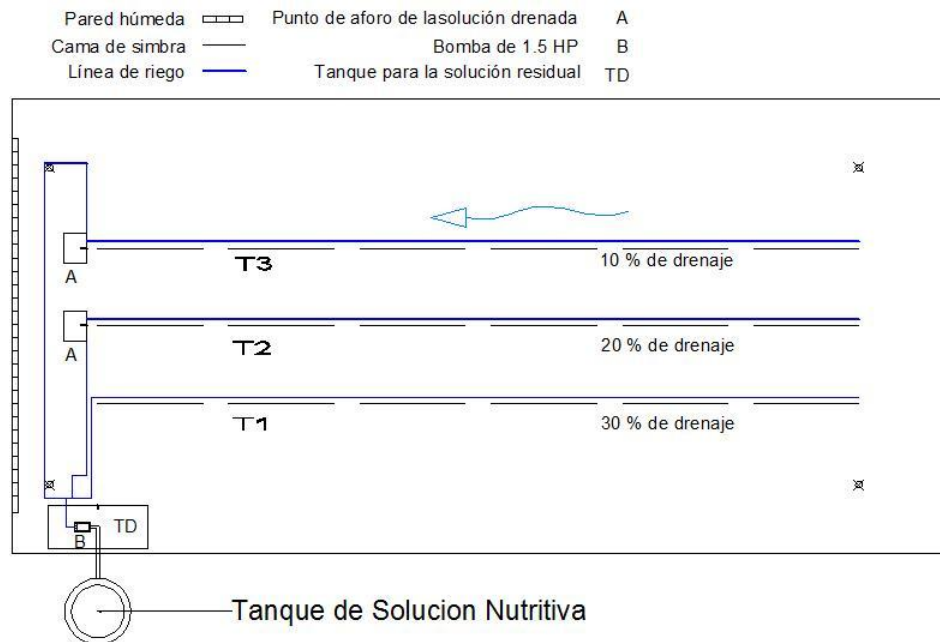


Figura 3.2 Croquis de la distribución de cama de siembra y línea de riego.

3.3.1 Automatización

En este experimento se manejaron de manera automática el sistema de riego por goteo y los registros de datos de la temperatura máxima, mínima y media. Para el sistema de riego se le adaptó un nivel básico de automatización, ya que solamente consistió en la apertura y cierre de las válvulas solenoides de cada tratamiento correspondiente, en los tiempos y frecuencias definido por el usuario.

3.4 Consideraciones estadísticas

La frecuencia de riegos y el consumo de agua se estableció definiendo tres porcentajes de drenaje (tres tratamientos): 30, 20 y 10%. Esto considerando que se mantuvo flujo estable, de tal forma que el contenido de agua en el sustrato es constante y que no existe aporte por lluvia. De esta forma, la diferencia entre el agua aplicada por riego y el agua drenada corresponde al agua consumida por las plantas. El efecto de los tratamientos en el desarrollo y rendimiento del cultivo se evaluó con un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 3 sacos de 6 plantas cada uno.

3.5 Contenedor del sustrato (perlita)

Se utilizaron bolsas de polietileno coextruido (color blanco externo y negro interno) como contenedores del sustrato, se cortaron de 120 cm de largo, lo cual se selló aproximadamente 7.5 cm a cada extremo, que finalmente da una longitud de 105 cm después de ser relleno con el sustrato de perlita expandida. Por cada taco tiene una dimensión de 105 cm de largo, 28 cm de ancho y 11 cm de alto, dando un volumen de 32.34 L.

3.6 Material vegetativo

Se utilizó el tomate híbrido Gabriela de crecimiento indeterminado, de la casa comercial Hazera Genetics LTD, Lote 13932, con germinación del 90%. Es un híbrido muy vigoroso y de madurez relativa intermedia, o levemente tardía, de una excelente calidad de fruto y con resistencia a enfermedades como Verticillium, Fusarium Razas 1, 2, Virus del Mosaico del Tabaco, Nemátodos, apta para producción en invernadero y recomendada para cultivarse durante los ciclos de otoño, invierno y primavera temprana.

Es una variedad para cosecha larga de 6 a 8 meses con tamaño de fruto en promedio mediano, su forma es achatado globosa y hombros verde-claro, cuenta con una excelente firmeza y larga vida de anaquel, tiene la opción de ser cosechado en forma de racimos, ya que la posición de los frutos dan esta alternativa, puede llegar en invernadero a completar los 30-35 racimos sin ningún problema.

3.7 Marco de plantación

En este experimento se estableció un marco de plantación con las siguientes dimensiones; 1.18 m entre camas de siembra a dos hileras, 0.35 m entre plantas y 0.14 m entre hileras de cultivo. Como son 11 tacos que fueron colocados en una cama de siembra, esto da un total de 66 plantas. Con estos datos se obtuvieron una densidad de plantas de 4.8 plantas/m². Los tacos ubicados al final de la cama de siembra, no se consideraron en las evaluaciones para eliminar el efecto de orilla.

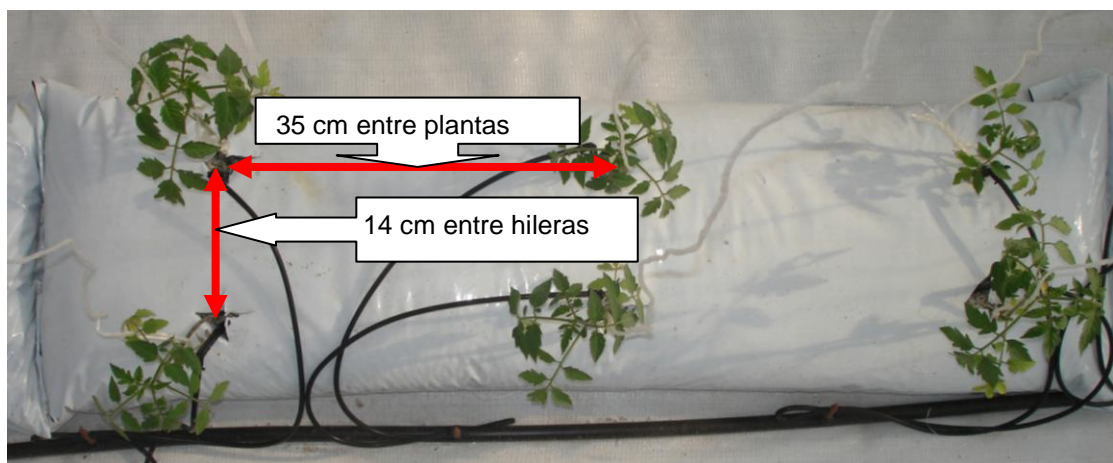


Figura 3.3 Detalle del marco de plantación dentro del contenedor.

3.8 Labores culturales

Principalmente se desarrollaron actividades como; deshojado o poda de hojas, poda de tallos, entutorado, y golpeteos en los tensores para promover la polinización.

3.8.1 Poda de hojas

El deshojado también conocido como poda de hojas es importante para el cultivo, ya que facilita la aireación y mejora el color de los frutos. De igual manera es necesario realizarlo en las hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, para evitar posible disipación de patógenos. Esta actividad se realizó cada 8 días.



Figura 3.4 Vista del cultivo de tomate híbrido Gabriela después de haber podado las hojas y tallos, bajo invernadero en un sistema de cultivo semi-hidropónico.

3.8.2 Poda de tallos

La poda de tallos, también es una actividad importante para el cultivo, porque consiste en ir quitando los brotes laterales y axilares de las hojas, que dan origen a nuevos tallos. Esta actividad evita que se llegue a formar demasiada biomasa, que a su vez puede generar consecuencias en competencia nutricional, provocando reducción en los tamaños de los frutos, disminución en rendimiento de la producción. De esta actividad logramos una planta más vigorosa, con poca biomasa, la planta dedicará toda su energía a los frutos.

3.8.3 Entutorado

El entutorado, es una labor de suma importancia, lo cual se realizó con hilo de rafia enrollado en un gancho metálico con una longitud de 9 m, con el objetivo de ir bajando el cultivo cuando alcance la altura máxima de 2 m, a la cual están ubicados los tensores. Esta labor es una práctica que permite mantener la planta erguida, y evita que hojas y frutos toquen el suelo. Un extremo del hilo va sujeto del tallo desde la base, y este amarre va lo suficientemente flojo para que no provoque estrangulamiento en el tallo principal de la planta. Con esta actividad se logra una mejoría en aireación general de la planta y mayor dispersión de la radiación solar, al mismo tiempo se facilita la práctica de labores culturales.

3.8.4 Manejo fitosanitario del cultivo

Antes del trasplante se desinfectó el invernadero con pentacloronitrobenceno (PCNB), asperjándolo en toda la superficie interna, así como también a los tacos (sustratos), con una dosis de 73.75 ml/105.36 m², esto con el fin de evitar la proliferación de hongos y otros patógenos del suelo. Posteriormente se tuvo que aplicar un fungicida *Cupertron* para controlar el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) que se presentó en el cultivo

a los 30 días después del trasplante, con una dosis de 31.1 ml / 10 L de agua. El tratamiento se continuó realizando, pero se cambió el producto, para esta aplicación se empleó *Promyl*, a los 35 días después de haber sido establecido el cultivo. De esta forma se realizaron las actividades para el control de enfermedades fungosas, pero al mismo tiempo se combinó con la poda de hojas, retirándolos inmediatamente del área de cultivo.

Cuando se presentó la Mosquita Blanca (*Bemisia tabaci*) se aplicó un insecticida llamado *Platino 375* formulado en forma líquida, con una dosis de 15 ml / 15 L de agua. Este producto tiene un intervalo de seguridad de 3 días, por lo cual es muy recomendable aplicar solamente en cosechas con intervalo de 4 días o más.

3.9 Aforo del drenado en los tres tratamientos

Para aforar el volumen drenado en el tratamiento 1, se tuvo que emplear un pluviómetro electrónico modelo TR-5251 de Texas Electronics, inc. Mostrado en la Figura 3.5, conectado a un datalogger modelo LI-1200 de LI-COR. Tiene un sistema de registro que incluye dos pequeños recipientes que alternan sus posiciones para recibir el agua que se recibe de la zona de captación. La capacidad de llenado de cada recipiente equivale a una cantidad de 37.5 ml. Cuando uno de los recipientes se llena, el sistema se vuelca por gravedad, vaciándose el recipiente lleno y quedando el otro en posición de llenado. Mediante un contacto eléctrico se registra la frecuencia de vuelcas.



Figura 3.5 Pluviómetro electrónico modelo TR-5251 de Texas Electronics, inc., para el aforo en el tratamiento uno (T1).

Para el aforo del drenado en los tratamientos T2 y T3, se realizaron de forma manual, con el apoyo de un recipiente graduado en ml.



Figura 3.6 Captación del agua de riego drenado en los tratamientos dos (T2) y tres (T3), para el aforo manual.

3.11 Parámetros de medición

Se realizaron diversas mediciones, como: Longitud del tallo, muestra de materia seca, volumen de riego y drenado, número y peso de frutos de cada una de las repeticiones por cada tratamiento.

Para la obtención de los datos de temperatura dentro del invernadero se instaló un termistor para medir la temperatura del aire y otro termistor para medir la temperatura del sustrato, además se instaló un pyranómetro para medir la radiación solar total conectados a un solo datalogger modelo LI-1200 de LI-COR. Este se instaló en el interior del invernadero.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo los tratamientos definidos desde el inicio de la investigación, se establecieron los siguientes porcentajes de drenaje; tratamiento uno (T1) con 30% de drenaje, tratamiento dos (T2) con 20% de drenaje y tratamiento tres (T3) con 10% de drenaje. Pero finalmente, resultaron los siguientes porcentajes de drenaje promedio de cada uno de los tratamientos; T1 (30.31% de drenaje), T2 (27.29 % de drenaje) y T3 (17.04% de drenaje).

4.1 Riego, drenaje y consumo de agua por las plantas

En la Figura 4.1, se muestra que al inicio del ciclo de desarrollo del cultivo, el volumen drenado está muy cercano al volumen de riego, pero a medida que transcurre el tiempo, ocurre un ligero aumento en el volumen de riego y disminución del volumen drenado, hasta llegar a los 45 días después del transplante (DDT). A medida que la planta empieza a desarrollar área foliar y raíces, aumenta el requerimiento hídrico, tal como se observa después de los 45 DDT.

Las variaciones bruscas se deben al efecto de nubes, descomposición de equipos de riego y el ajuste del programa de riego. Pero el cambio brusco a los 45 DDT para los tres tratamientos, se debe principalmente por el retiro de malla sombra de color negro, ya que al inicio del experimento el invernadero tenía una malla colocada sobre la cubierta plástica, con la finalidad de reducir la entrada de la radiación solar directa durante el día y conservar la energía durante la noche en el interior del invernadero. El retiro de la malla fue porque las plantas presentaban una coloración amarillenta, considerando que no se daba el proceso fotosintético adecuado para el

cultivo.

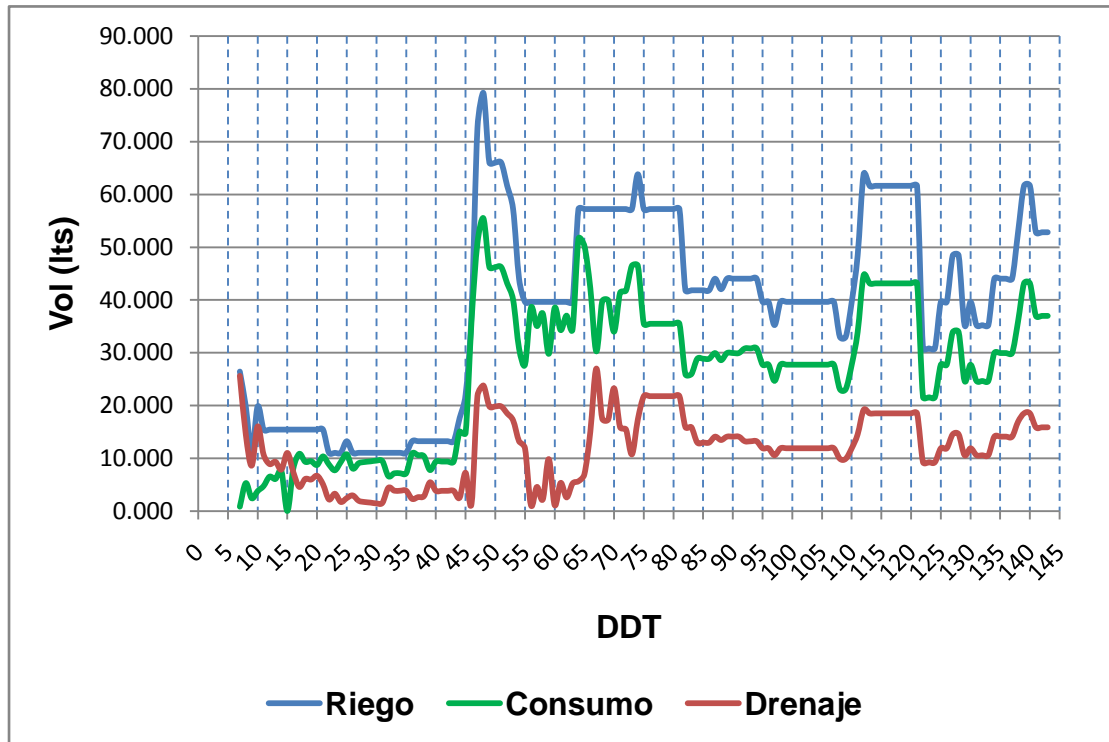


Figura 4.1 Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento uno (T1) con 30.31% de drenaje.

Para el tratamiento dos (Figura 4.2), ocurre lo mismo que en el tratamiento uno, que al inicio del cultivo el volumen drenado es muy cercano al volumen de riego, ya que las plantas recién trasplantadas no consumen mucha agua, debido que no han desarrollado hojas y raíces que permita la mayor cantidad del consumo de agua. Después de los 45 DDT, el volumen de agua aplicada al cultivo se incrementó, debido a que el desarrollo de la planta va en aumento a medida que transcurre el tiempo. Notese que para este porcentaje de drenaje, la diferencia entre la línea de drenaje y la de consumo es menor que para el drenaje del tratamiento uno.

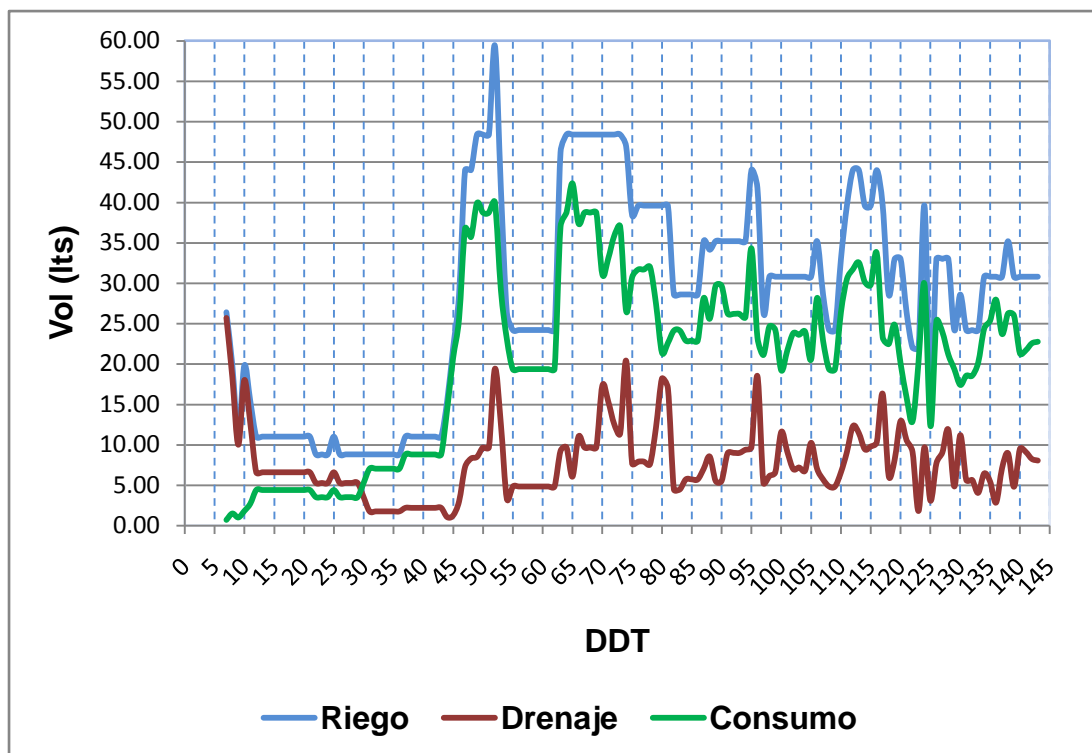


Figura 4.2 Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 a 143 día después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento dos (T2) con 27.29 % de drenaje.

En el tratamiento tres (17.04% de drenaje) la línea de drenaje es mucho menor que las líneas de riego y de consumo (Figura 4.3). También se observa que la diferencia entre la línea de riego y de consumo es mucho menor que la que se observa en los tratamientos uno y dos. Esto indica que la mayor parte del agua aplicada en el riego se consume (transpiración) por las plantas.

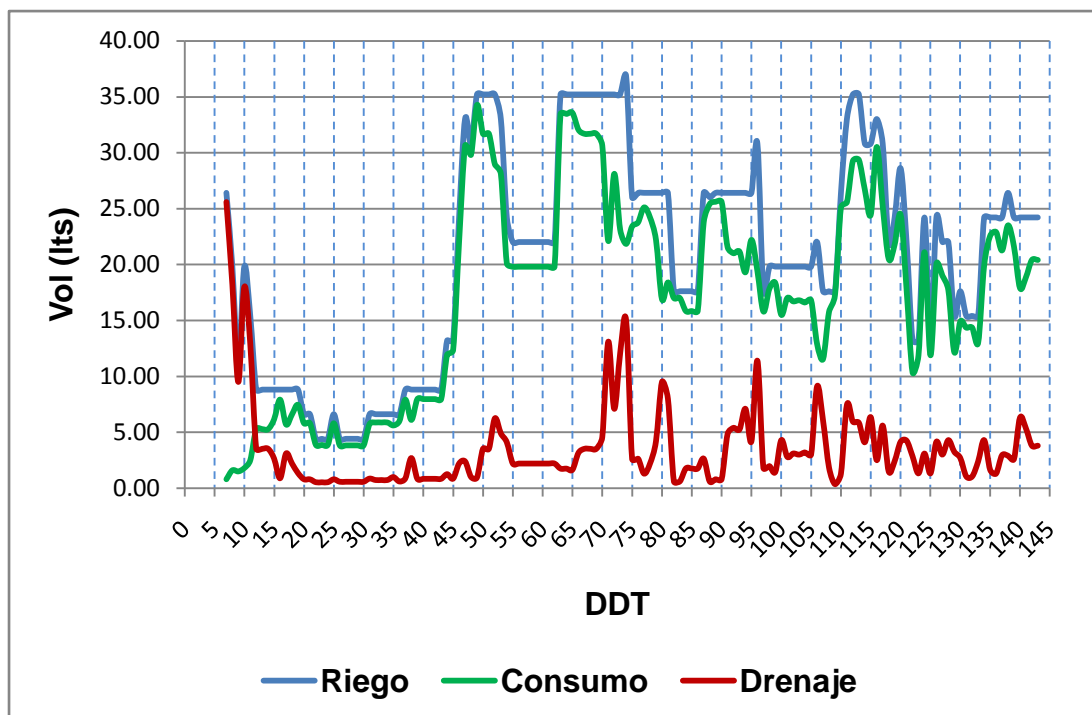


Figura 4.3 Riego, drenaje y consumo de agua por tratamiento del 7 al 143 días después del trasplante (DDT), correspondiente al tratamiento tres con 17.04% de drenaje.

La temperatura máxima promedio dentro del invernadero fue 25.47°C, temperatura media 19.73°C y temperatura mínima 14.17°C, (Figura 4.4). De estos resultados obtenidos se puede considerar que el cultivo se le proporcionó las condiciones adecuadas para mantener los rangos de temperatura que requiere el cultivo de tomate. La temperatura del sustrato se mantuvo alrededor de 24°C, óptimo para la disponibilidad de los nutrientes del cultivo.

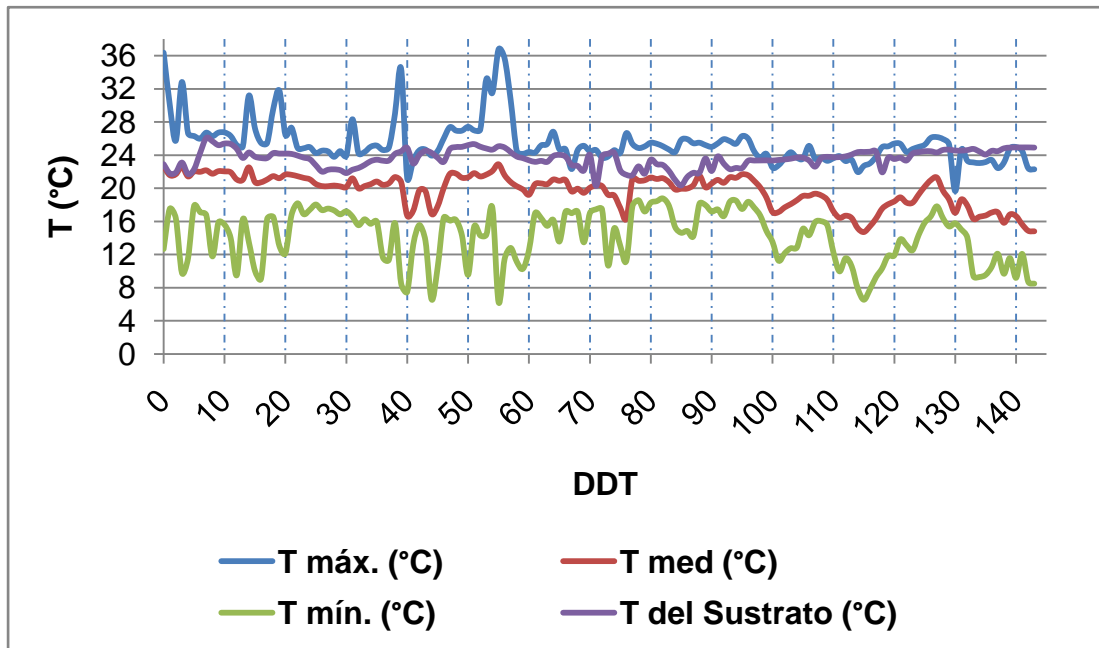


Figura 4.4 Temperatura del aire y del sustrato dentro del invernadero durante el desarrollo del estudio.

En la Figura 4.5 se muestra el que la radiación solar oscila de 1 a 12 $\text{MJ m}^2 \text{ día}^{-1}$. Los valores mínimos se deben a los días nublados, mientras los valores máximos representan a los días despejados. Puede verse que a partir de los 40 DDT hay un cambio brusco de la radiación solar, se debe principalmente por el retiro de la malla sombra de color negro, que al inicio del experimento contaba con el invernadero sobrepuesta a la cubierta plástica. La radiación solar se midió con un pyranómetro.

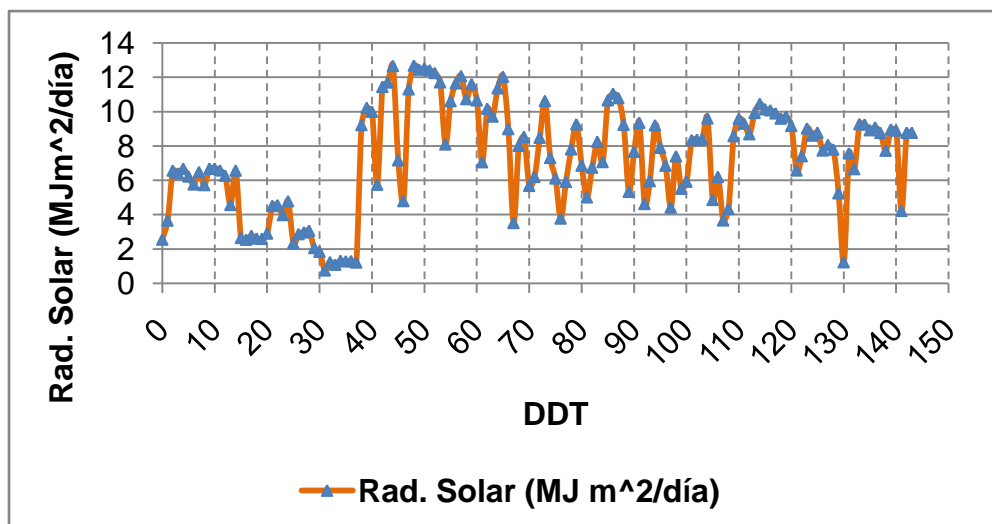


Figura 4.5 Radiación solar total (MJ m²/ día) dentro del invernadero tipo túnel.

4.2 Muestra de materia seca

Para evaluar el efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo y en el rendimiento, se realizaron mediciones de: longitud del tallo (LT), peso seco de frutos (PSF), área foliar (AF), diámetro del tallo principal(DT), peso seco de la hoja (PSH).

Las plantas del tratamiento tres (menor porcentaje de drenaje) tuvieron menor área foliar a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo (Figura 4.6). Esto se debió a que estas plantas tuvieron un menor consumo de agua. Pero de manera general para los tres tratamientos se ve que hay una reducción del área foliar en las mediciones realizadas a los 102 y 134 DDT, comparado con la medición realizada a los 74 DDT. Este decremento ocurrió por la poda de hojas, y era necesario realizarlo, ya que se presentó una enfermedad fungosa (Tizón tardío) en el cultivo, lo cual obligaba a retirar todas las hojas infectadas, para evitar la permanencia y diseminación de la enfermedad en todo el cultivo.

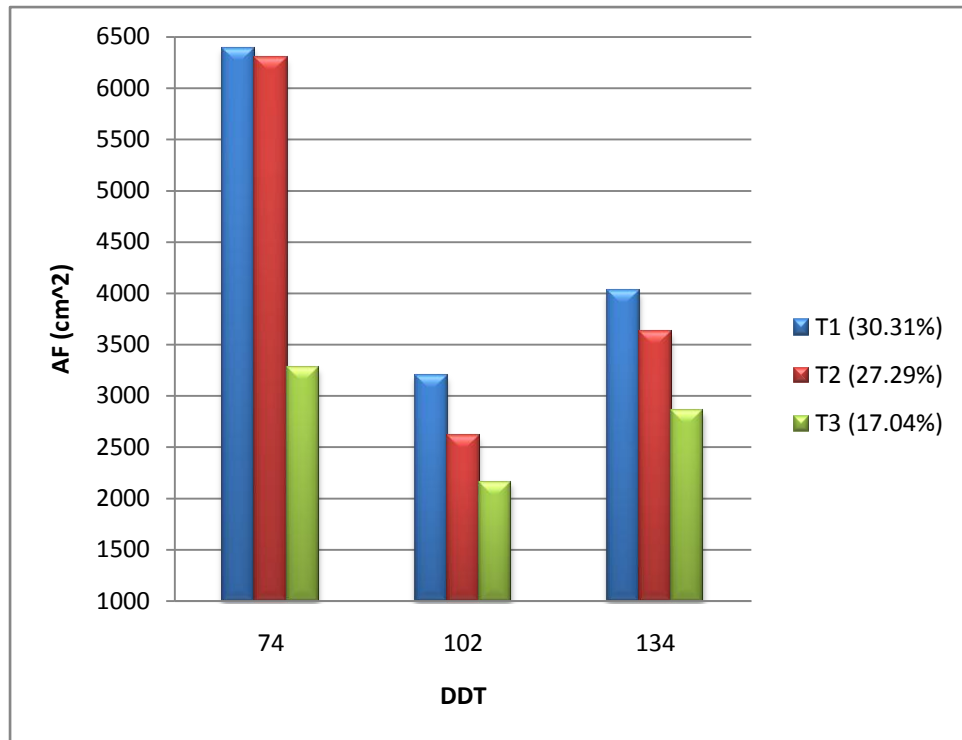


Figura 4.6 Área foliar (cm²) en cada tratamiento evaluada a los 74, 102 y 134 días después de transplante (DDT).

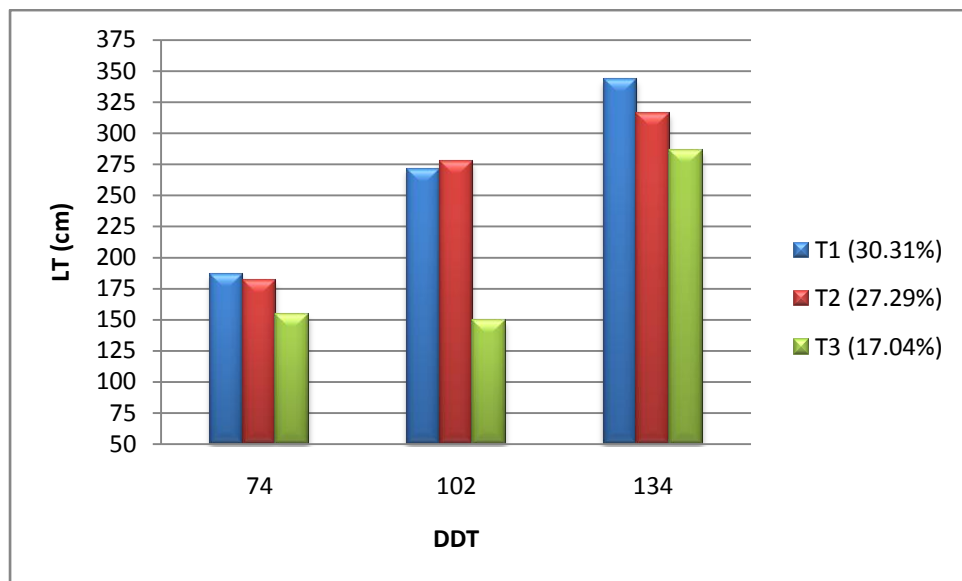


Figura 4.7 Longitud del tallo (LT), en (cm).

La Figura 4.8 presenta los resultados del engrosamiento de los tallos del cultivo. Se observa que los diámetros del tallo fueron muy variados por efecto de los tratamientos. Este comportamiento se explica por el efecto del desbalance nutricional, que hizo debilitar el óptimo desarrollo de las plantas. Por otra parte cabe recalcar que las mediciones realizadas también tienen efecto, porque no se realizaron en una sola planta consecutivamente, sino que la muestra de plantas se hicieron de manera aleatoria, empleando un método destructivo, es decir, a los 74 días después del trasplante (DDT) se cortaron una planta por cada tratamiento, y así sucesivamente para las siguientes mediciones realizadas a los 102 y 134 DDT.

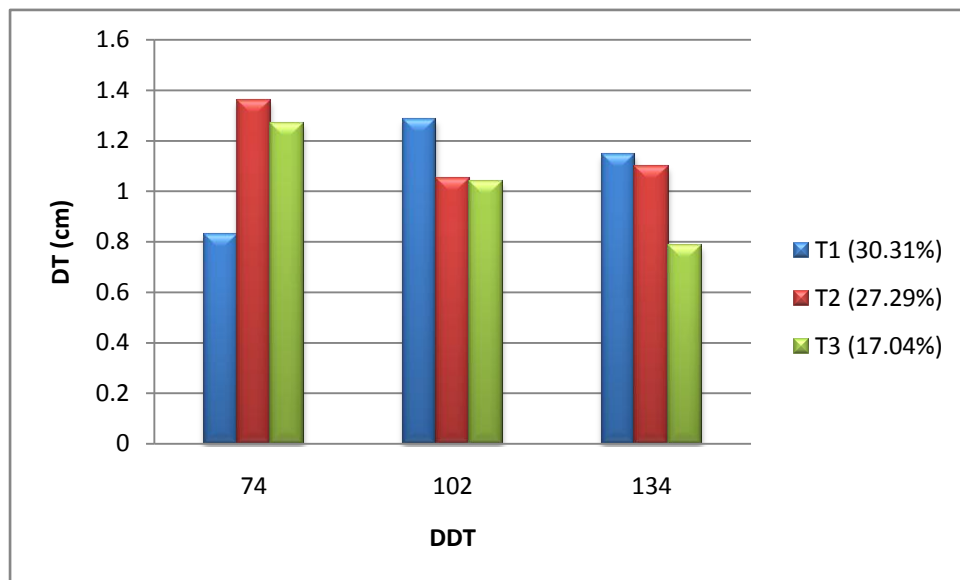


Figura 4.8 Diámetro del tallo (DT), en (cm).

En la Figura 4.9 vemos claramente que la aplicación de diferentes cantidades de agua al cultivo, tiene una relación directa, por el resultado obtenido en el tratamiento tres (T3) presentando mayor cantidad de peso seco del fruto antes de que los demás lleguen a la misma cantidad de producción. Este resultado demuestra que al reducir la cantidad de agua aplicado al cultivo se puede adelantar la producción. Porque en esta primera medición la fructificación en los tratamientos uno (T1) y dos (T2) son menores que el de tratamiento tres (T3). Pero en la segunda medición

realizada a los 102 DDT los resultados se invirtieron completamente, lo cual indica que la producción del tratamiento tres decrece en poco tiempo, cuando los del T1 y T2 duran más tiempo en producir.

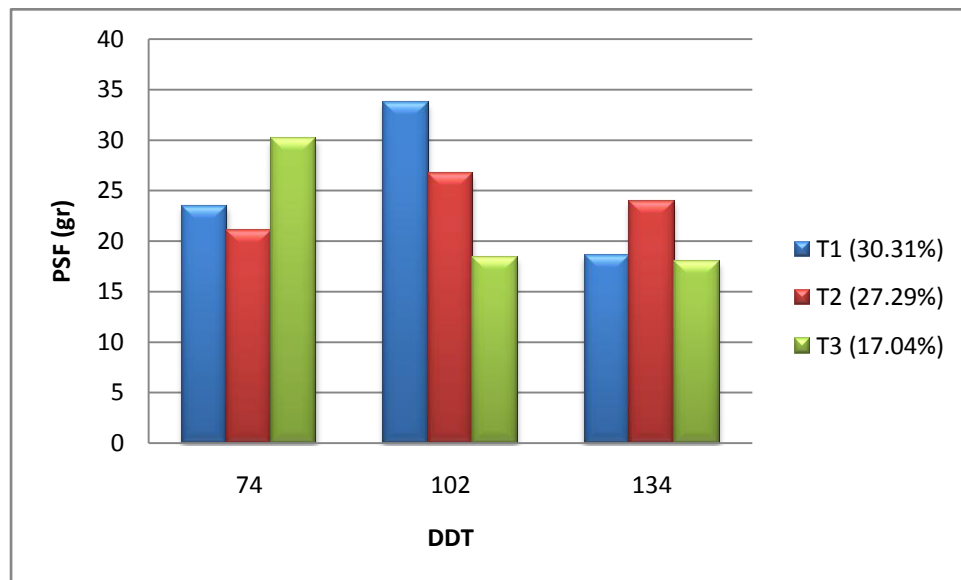


Figura 4.9 Peso seco del fruto (PSF) en (gr), del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y en sistema de cultivo semi-hidropónico.

En la Figura 4.10, se observa claramente el efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo, ya que el T1>T2>T3 con 30.31, 27.29 y 17.04% de drenaje respectivamente. Esas comparaciones muestran que el tallo principal del cultivo con tratamiento uno (T1, 30.31% de drenaje) estuvo mucho mejor desarrollado, que el cultivo con tratamiento tres (T3, 17.04 % de drenaje).

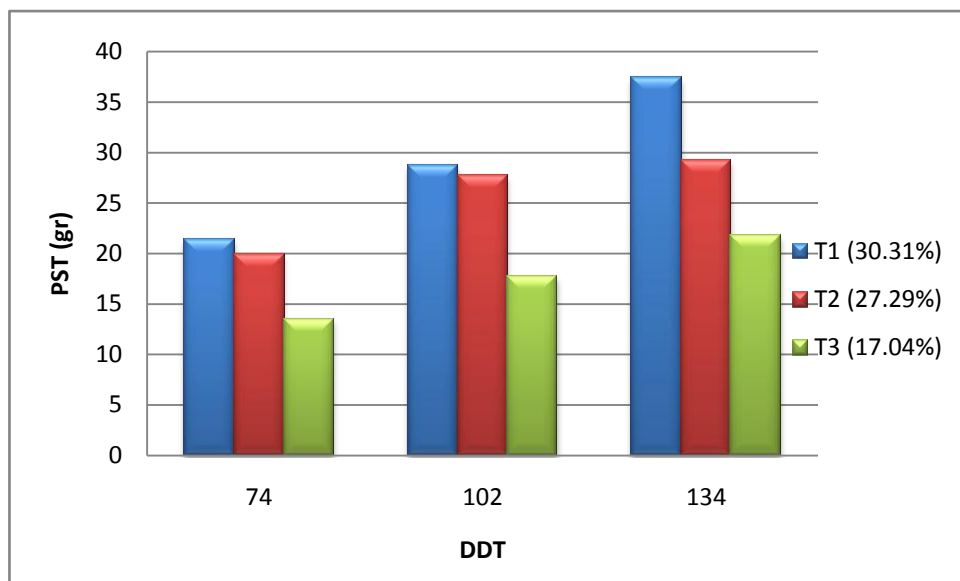


Figura 4.10 Peso seco del tallo (PST) en gramos, de las tres mediciones de cada uno de los tres tratamientos con diferentes porcentajes de drenaje.

En la primera medición realizada a los 74 DDT se obtuvo mayor peso de la hoja, ya que por esa fecha todavía las plantas no se le habían podado sus hojas. En la siguiente medición hecha a los 132 DDT es notoria la disminución del peso seco de la hoja, por último se incrementa ligeramente. Pero cabe recalcar que los efectos de los tratamientos basados en esa Figura 4.11, se ve claramente que a mayor volumen de agua aplicado al cultivo, hay una mayor formación de hojas en la planta, es decir, los resultados de las tres mediciones se mantienen con la siguiente condición $T1 > T2 > T3$ con drenajes de 30.31, 27.29 y 17.04%.

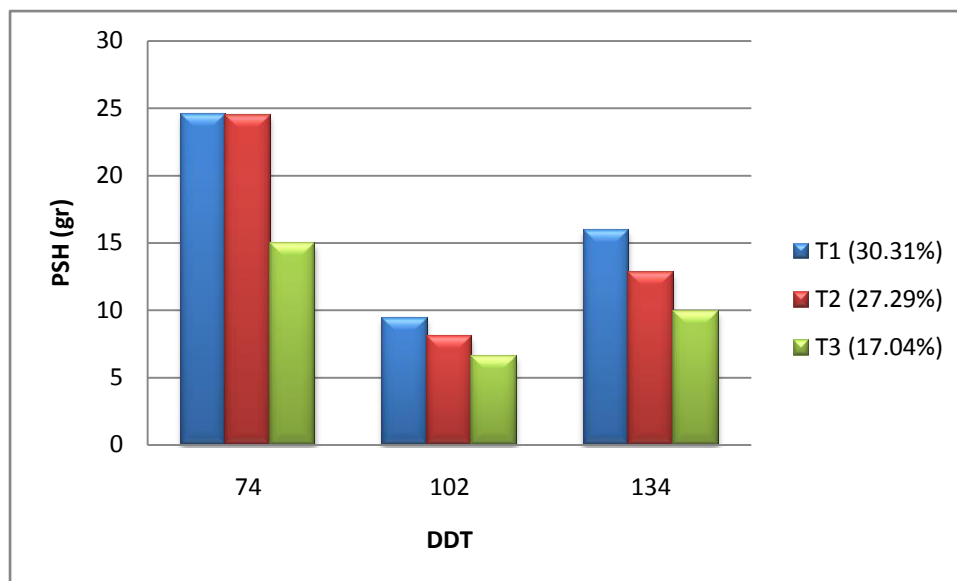


Figura 4.11 Peso seco de la hoja (PSH) en (gr), del cultivo de tomate híbrido Gabriela, cultivado bajo invernadero en un sistema semi-hidrpónico.

4.3 Longitud máxima promedio de las plantas.

En la Figura 4.12 se puede ver que las mediciones se realizaron a un intervalo de un mes exactamente. En esa misma figura se puede ver las comparaciones de medias entre los tres tratamientos. La primera medición realizada a los 10 DDT se observa que entre el T1 y T3, estadísticamente no hay diferencia, lo mismo sucede entre el T2 y T3, lo único que presenta diferencia es entre el T1 y T2 con diferencia mínima significativa de 2.91 cm.

Para la siguiente medición correspondiente a los 40 DDT se observa que entre los tres tratamientos T1, T2 y T3 son iguales con DMS de 8.98 cm.

La tercera medición realizada a los 71 DDT se obtuvo que únicamente entre los tratamientos T1 y T3 son diferentes, lo que indica que podemos regar al cultivo con la cantidad de agua que se aplica en el tratamiento dos (T2) con 27.29% de drenaje, tendrá el mismo efecto en el crecimiento de la longitud del tallo que el de tratamiento T1 con 30.31% de drenaje. Por este criterio logramos ahorro de agua en este sistema de cultivo protegido.

Es conveniente recalcar la diferencia mínima significativa, cada vez se va aumentando, para esta tercera medición la DMS es de 14.31 cm, y la longitud promedio de las plantas son de 178.83 cm, 165.5 cm y 152.16 cm de los T1 , T2 y T3 respectivamente, que corresponde al mes de agosto. Se continuó con las mediciones correspondientes a los 102 DDT, donde se obtuvo una diferencia entre los tratamietos T1 y T2, T1 y T3, pero entre T2 y T3 son iguales. Finalmente en la última medición que fue a los 132 días después de haberse trasplantado las plántulas, se obtuvo que los tres tratamientos evaluados en este experimento son diferentes entre sí. Había transcurrido 5 meses después de haberse establecido el cultivo, se alcanzaron las siguientes longitudes promedio de las plantas, 326.33 cm, 304.33 cm y 279.5 cm de los tratamientos uno con 30.31% drenaje, tratamiento dos con 27.29% de drenaje y tratamiento tres con 17.04% de drenaje respectivamente. En esta última medición, se obtuvo una DMS de 19.69 cm, aparentemente no es mucho, pero al integrar toda la formación de la materia seca representa un valor significativo para el cultivo, además tiene importancia en en las estructuras de los invernaderos, ya que todo el peso del cultivo se carga en los soportes del invernadero.

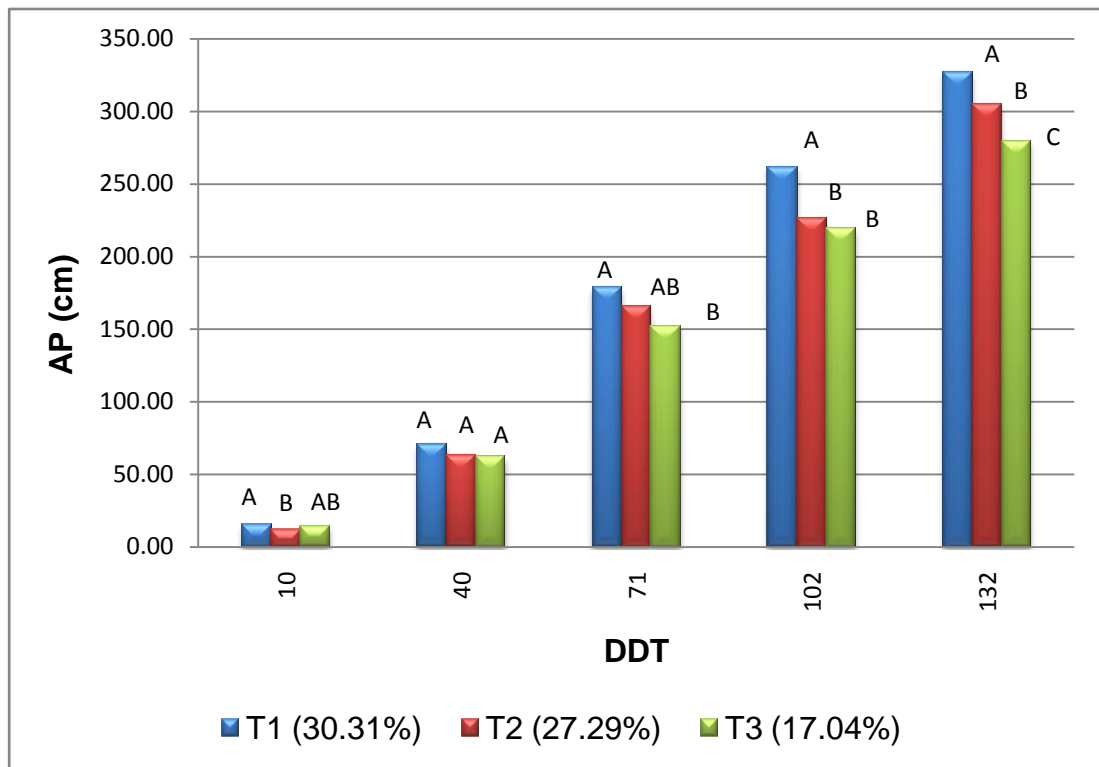


Figura 4.12 Longitud máxima promedio del tallo del cultivo de tomate híbrido Gabriela, bajo invernadero en sistema semi-hidropónico, de tres tratamientos con diferentes porcentajes de drenaje.

4.4 Cosecha

La cosecha se realizó dos veces por semana, de tal manera que los frutos no se maduraran demasiado, se tomaron en cuenta la coloración rosado y rojo como indicadores para el corte. Para este resultado abarca desde el primer corte a los 75 días después de haber sido trasplantado la planta hasta los 17 cortes a los 143 días después del trasplante.

En la Figura 4.13 se puede ver que el tratamiento tres (T3) comienza a producir antes que los tratamientos uno y dos. A los 100 DDT tienden a igualarse el rendimiento de producción. Esto indica que al reducir la cantidad de

agua de riego se logra una producción temprana, pero con un rendimiento bajo comparado con el tratamiento de mayor porcentaje de drenaje que al mismo tiempo implica más volumen de agua de riego. Si observamos al T3 desde los 100 DDT sigue aumentando su producción hasta los 116 DDT aproximadamente, donde empieza a descender el rendimiento de producción. En cambio los del tratamiento uno y dos se desfasan un poco más de tiempo, su decremento de producción empieza a los 123 DDT. Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa con un nivel de significancia del 5%.

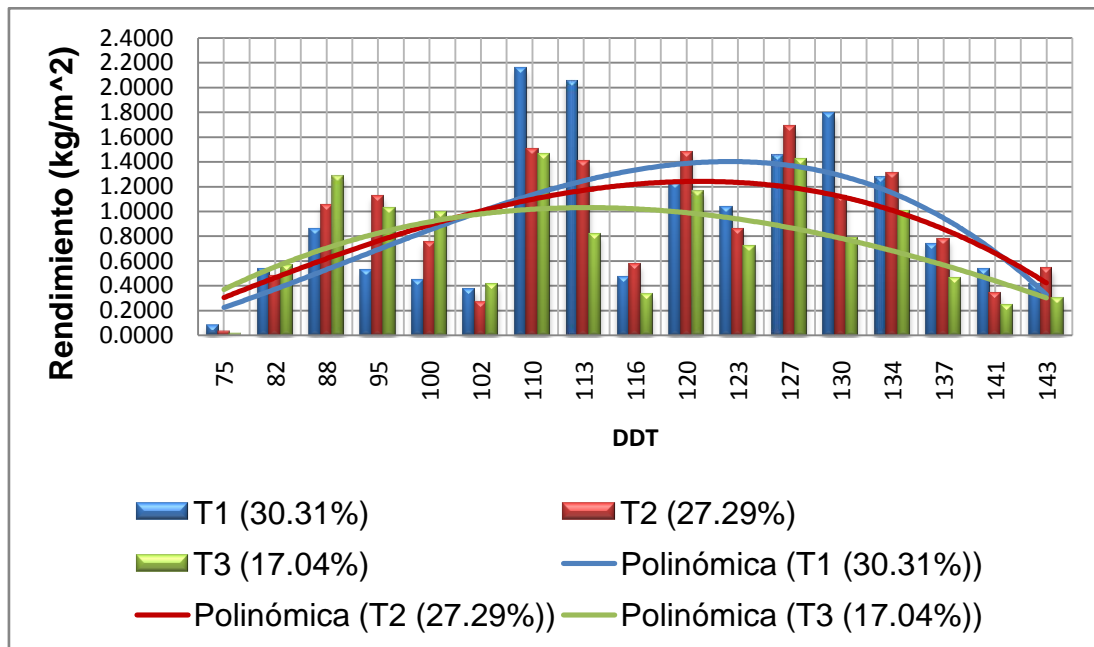


Figura. 4.13 Rendimiento y Tendencia de la producción (kg/m²) del Cutivo de tomate bajo diferentes porcentajes de drenaje.

En el Cuadro 4.1 se muestra las comparaciones de medias en cada corte, donde se puede ver que entre los tres tratamientos que corresponden a los cortes 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16 y 17 estadísticamente son iguales. Mientras que en los cortes (C123), 6, 13 y 15 presentan una diferencia entre los tratamientos.

Cuadro 4.1 Comparación de medias del número de frutos (NF) cosechados en cada corte.

| <i>Trat.</i> | C123 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T3 | 39.66 a | 25.33 a | 23.67 a | 10.67 a | 49.33 a | 22.00 b |
| T2 | 34.33 ab | 22.33 a | 19.00 a | 7.67 b | 42.00 a | 36.33 a |
| T1 | 30.00 b | 14.00 b | 13.33 b | 8.67 ab | 40.33 a | 47.33 a |
| NS | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 6.5775 | 5.683 | 4.9815 | 2.0992 | 10.3675 | 11.4678 |

| <i>Trat.</i> | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 |
|--------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T3 | 8.00 a | 23.00 a | 15.67 a | 34.67 a | 19.67 b | 24.00 a |
| T2 | 12.67 a | 33.33 a | 20.33 a | 41.67 a | 27.67 ab | 30.67 a |
| T1 | 10.00 aA | 27.00 a | 23.33 a | 33.67 a | 35.00 a | 29.33 a |
| NS | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 4.7072 | 10.504 | 8.0156 | 8.8829 | 9.8783 | 10.0992 |

| <i>Trat.</i> | C15 | C16 | C17 |
|--------------|------------|------------|------------|
| T3 | 11.00 b | 7.33 a | 7.33 a |
| T2 | 14.33 ab | 8.67 a | 12.33 a |
| T1 | 16.67 a | 12.00 a | 12.00 a |
| NS | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 5.4041 | 7.4757 | 5.6895 |

En el Cuadro 4.2, se concentra el rendimiento total de frutos cosechados. Al realizar la comparación de medias con un nivel de significancia del 5% y una DMS de 28, se obtuvo que entre los tratamientos T1 con 30.31% de drenaje y T2 con 27.29% de drenaje, estadísticamente son iguales. Lo cual indica que podemos regar al cultivo con el volumen de agua aplicado para el tratamiento T2, obtendremos el mismo rendimiento. Pero al comparar entre los tratamientos T3 con T1 y T3 con T2, estadísticamente son diferentes. Para lograr un ahorro de agua, lo más conveniente es emplear el de tratamiento dos (T2) con el 27.29 % de drenaje.

Cuadro 4.2 Rendimiento total del número de frutos del cultivo de tomate bajo invernadero en sistema semi-hidropónico.

| <i>Trat.</i> | <i>Rendimiento Total</i> |
|--------------|--------------------------|
| T3 | 312.00 b |
| T2 | 363.00 a |
| T1 | 362.00 a |
| NS | 5% |
| DMS | 28.8504 |

El Cuadro 4.3, presenta la comparación de medias de los pesos de frutos que se obtuvieron en cada uno de los cortes de cada tratamiento y repeticiones correspondientes. Estadísticamente, las comparaciones entre los tres tratamientos son diferentes en la mayoría, sólo los cortes 7 y 14 presentan semejanza entre los tratamientos T2 con T3 y T1 con T2.

Cuadro 4.3. Comparación de medias del peso de frutos (PF) del tomate híbrido Gabriela, por corte realizado dos veces por semana.

| <i>Trat.</i> | <i>C123</i> | <i>C4</i> | <i>C5</i> | <i>C6</i> | <i>C7</i> | <i>C8</i> |
|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T3 | 3448.76 a | 1913.33 b | 1843.33 a | 760.00 a | 2716.40 b | 1510.00 c |
| T2 | 2901.97 b | 2080.00 a | 1396.67 b | 500.00 c | 2787.80 b | 2605.00 b |
| T1 | 2729.73 c | 973.33 c | 823.33 c | 683.33 b | 3995.35 a | 3816.67 a |
| NS | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 63.2081 | 45.5463 | 36.4932 | 12.3961 | 89.4334 | 101.0874 |

| <i>Trat.</i> | <i>C9</i> | <i>C10</i> | <i>C11</i> | <i>C12</i> | <i>C13</i> | <i>C14</i> |
|--------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T3 | 609.44 c | 2156.67 c | 1330.00 c | 2636.67 b | 1453.33 c | 1853.33 b |
| T2 | 1060.14 a | 2743.33 a | 1596.67 b | 3130.00 a | 2080.00 b | 2423.33 a |
| T1 | 865.22 b | 2286.67 b | 1920.00 a | 2696.67 b | 3323.33 a | 2370.00 a |
| NS | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 40.3586 | 92.9021 | 64.4122 | 72.1039 | 89.8185 | 89.6758 |

| <i>Trat.</i> | <i>C15</i> | <i>C16</i> | <i>C17</i> |
|--------------|------------|------------|------------|
| T3 | 863.33 c | 460.00 c | 553.33 c |
| T2 | 1430.00 a | 633.33 b | 1000.00 a |
| T1 | 1366.67 b | 993.33 a | 763.33 b |
| NS | 5% | 5% | 5% |
| DMS | 43.2386 | 52.8352 | 49.5845 |

El rendimiento de producción obtenido en los tres tratamientos. Analizando el rendimiento, encontramos que el tratamiento con un promedio de drenaje de 30.31% tiene el mayor rendimiento comparado con el resto de los dos tratamientos (T2 y T3).

Pero cuando se analiza la columna de productividad mostrado en el Cuadro 4.4, el tratamiento tres con 17.04% de drenaje presenta un total de 30.08 g de tomate por cada litro de agua aplicada al cultivo.

Cuadro 4.4 Rendimiento de producción del tomate por superficie cosechado durante dos meses.

| Tratamiento | Rendimiento | | Productividad |
|-------------|-------------------|--------|---------------|
| | kg/m ² | ton/ha | g/L |
| T1 (30.31%) | 15.93 | 159.31 | 28.23 |
| T2 (27.29%) | 15.26 | 152.64 | 28.08 |
| T3 (17.04%) | 12.97 | 129.72 | 30.08 |

El rendimiento de producción por superficie extrapolado a seis meses de cosecha, alcanza rendimientos superiores a la media nacional y muy cercano a lo que han logrado producir en Estados Unidos y Canadá, como se muestra en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.5 Rendimiento de producción del tomate híbrido Gabriela extrapolado a 6 meses de cosecha.

| Tratamiento | Rendimiento |
|-------------|-------------|
| | ton/ha |
| T1 (30.31%) | 477.92 |
| T2 (27.29%) | 457.92 |
| T3 (17.04%) | 389.15 |

Cuadro 4.6 Industria del tomate fresco, comparativo cultivados en invernaderos, 2004. (Fuente: FIRA)

| Concepto | Unidad | EUA | Canadá | México |
|-------------------------------------|--------|-----|--------|--------|
| Rendimiento promedio en invernadero | Ton/Ha | 480 | 487 | 160 |

V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

La cantidad de agua aplicada al cultivo influye directamente en el rendimiento del cultivo, ya que el mayor porcentaje de drenaje presenta el mayor rendimiento de producción de tomate, así como en la altura de las plantas.

Para el uso eficiente del agua se tiene que aplicar la cantidad de agua al cultivo que se manejó en el tratamiento T2 con 27.29% de drenaje, debido que no presenta diferencia significativa al comparar con el T1 con 30.31 % de drenaje, considerando que el desarrollo de la planta no se vea afectado en su altura, en área foliar y diámetro del tallo.

Para poder adelantar la producción, se puede aplicar el porcentaje de drenaje que se manejó en el tratamiento T3 con 17.04% de drenaje. Sólo que se corre el riesgo de que la planta tendrá un desarrollo raquítico, menos área foliar que acarrea menor intercepción de luz, originando el proceso fotosintético deficiente. Además, existe la posibilidad de acumulación de sales en el sustrato, por el hecho de aplicar poca cantidad de agua.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Arévalo, Navarro E. 1997. Evaluación de Cuatro Sustratos en Hidroponía bajo el Sistema Vertical, con Tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 78 p.
- Bautista, Martínez N. y Alvarado, López J. 2005. Producción de Jitomate en Invernadero. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Cadahia, López C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, Frutales y Ornamentales. 3ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 475 p.
- Díaz, Serrano F. D. 2004. Selección de Sustratos para la Producción de Hortalizas en Invernaderos. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato.
- FIRA.2007. Agricultura Protegida; Cultivo de tomate en invernadero. Dirección de Consultoría en Agronegocios. Dirección Regional del Norte.
- Hernández, Martínez J. 2004. Evolución de la Competitividad y Rentabilidad del Cultivo de Tomate Rojo (*Lycopersicon esculentum* L.) en Sinaloa, México. Agrociencia, vol. 38.
- Howard, M. Resh. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 5ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Magan, Cañadas J.J. 2005. La Agricultura Sin Suelo en la Región Mediterránea. Dpto. de Horticultura de la Estación Experimental de Cajamar "Las Palmerillas".
- Martínez, Martínez C. 2007. Estimación del consumo de agua en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en dos sistemas de producción

sustrato y suelo, bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 75 p.

Mazariegos, Suarez S. 2006. Programación de riego en base a diferencias térmicas entre el follaje y el aire en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita). Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 88 p.

Ramos, Lara C. *et al.* 2002. Eficiencia de Uso del Nitrógeno en Tomate de Cascara en Fertirriego. Red de Revistas Científicas de América Latina y del Caribe. Chapingo, México.

Requejo, López R. 2008. Acondicionamiento Nutricional de Plántulas y Optimización de Sustratos en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Bajo Invernadero. Tesis de doctorado, Facultad de Agronomía de la Universidad de Nuevo León, 148 p.

Samperio, Ruiz G. 1999. Hidroponía Comercial. 9ª Impresión. Edit. Diana. México.

Sánchez, V. J. 2000. FERTIRRIGACION, Principios, Factores, Aplicaciones. Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú, Lima.

Urrestarazu, Gavilán M. 2004. Tratado de Cultivo Sin Suelo. 3ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Vázquez, Pérez R. 2004. Producción de tomate bola (*Lycopersicon esculentum*, Mill) bajo diferentes sustratos hidropónicos. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 65 p.

Pertierra R. *et al.* 2003. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivado en Invernadero Bajo dos Regímenes Hídricos: Flujo de Savia, Crecimiento y

Rendimiento. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción Chile.
Cien. Inv. Agr. 27 (3): 161-168.

Martínez, Caldevilla E. 1993. Cultivos sin suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ed. D Horticultura. REUS. 123 p.

Soria, Carlos B. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas: Aspectos prácticos y Experiencias. I.S.B.N. 84-482-3145-7. Vol.1876. 110 p.

Páginas Web

http://www.quiminet.com/ar8/ar_%2594%2593%25E2d%2593_%25ADa.htm (25 de Marzo de 2009).

<http://www.polysack.com/files/d91c7fd0073ee50930698e4d4dac5f41.pdf> (25 de Marzo del 2009).