



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**EFFECTO DE LOS SUSTRATOS EN EL CULTIVO DEL TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill) BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO**

Luis Daniel Ortega Martínez

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2010

La presente tesis intitulada: **Efecto de los sustratos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero**; realizada por el alumno: **Luis Daniel Ortega Martínez**; bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

Puebla, Puebla enero de 2010

**EFFECTO DE LOS SUSTRATOS EN EL CULTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon
esculentum* Mill) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

Luis Daniel Ortega Martínez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

El tomate en el municipio de Chignahuapan Puebla, es el principal cultivo producido bajo condiciones de invernadero, los sistemas de producción de esta hortaliza se han ido diversificando con el fin de incrementar el rendimiento, incorporando tecnologías novedosas como cubiertas plásticas, riego por goteo e hidroponía. Uno de los principales factores que determinan el éxito del cultivo es el sustrato pues constituye el medio en que se desarrollan las raíces las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo. En este trabajo se evaluó el efecto de los sustratos aserrín, composta, tierra agrícola, tezontle así como la mezcla entre ellos a un volumen de 1:1 en la producción de plántulas y en el crecimiento y desarrollo del tomate bajo condiciones hidropónicas e invernadero. La mezcla de sustratos aserrín-composta provocó mayor respuesta para la germinación emergencia y calidad de plántulas, altura y grosor del tallo de la planta, número de flores, número de racimos y de frutos por racimo, peso total de fruto y mayor rendimiento por planta y metro cuadrado. Paralelamente se integra un programa de capacitación, planteándose una guía de asistencia técnica para la producción de tomate bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave (*Lycopersicon esculentum* Mill), sustrato, plántulas, crecimiento y desarrollo

**EFFECT OF GROWTH MEDIUM ON TOMATO GROWING (*Lycopersicon
esculentum* Mill) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS**

Luis Daniel Ortega Martínez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2010

SUMMARY

The tomato in municipality Chignahuapan, Puebla is the main crop grown under greenhouse conditions, production systems of this vegetable have been diversified in order to increase performance, incorporating innovative technologies such as plastic covers, drip irrigation and hydroponics. One of the main factors determining the success of culture is the substrate as they constitute the medium in which roots were developed which have great influence on the growth and development. This study evaluated the effect of substrates sawdust, compost, agricultural land, volcanic rock and the mixture among them a volume of 1:1 in the production of seedlings and the growth and development of tomato under hydroponic and greenhouse conditions. The mixture of sawdust, compost substrates resulted in more emergency response for germination and seedling quality, height and thickness of the stalk of the plant, number of flowers, number of clusters and fruits per cluster, total weight of fruit and higher yield per plant square foot. In parallel, a training program incorporates, posing a technical guide for tomato production under greenhouse conditions.

Keywords (*Lycopersicon esculentum* Mill), substrate, seedling growth and development

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento y facilidades brindadas durante la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados por facilitarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional, principalmente al programa de estrategias para el desarrollo agrícola regional que me brindo siempre los equipos y materiales necesarios para la investigación.

Al Dr. Juventino Ocampo Mendoza por ser un ejemplo a seguir; brindándome su conocimiento, apoyo, confianza y amistad y sobre todo por enseñarme que no existen límites en la vida cuando se desea o se quiere lograr algo.

Al Dr. Engelberto Sandoval Castro por brindarme su conocimiento, sugerencias y apoyo para el desarrollo del experimento y revisión de la presente.

A la Dra. Blanca Alicia Salcido Ramos por la paciencia brindada, apoyo y por sus acertadas aportaciones a la presente investigación.

Al Dr. Fernando Manzo Ramos por su apoyo, comentarios y sugerencias en la presente investigación.

Al Dr. Ramón Díaz Ruiz por compartirme su conocimiento.

A los Profesores del *Campus* Puebla por su brindarme dedicación, esfuerzo así como sus amplios conocimientos y experiencias que me han servido como ejemplo a seguir.

Al personal administrativo del *Campus* Puebla.

A la Familia Gonzales Ortega por participar y brindarme sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

DEDICATORIA

A Dios por el camino recorrido.

A mis queridos y admirables padres por su amor y sacrificio para mi superación.

A Hiss con todo mi amor hoy y siempre te agradezco el apoyo que me brindas en todo momento.

A mis hermanos Erick, Michel y Fanny.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| CONTENIDO | vii |
| Lista de figuras | xi |
| Lista de cuadros | xii |
| Lista de anexos | xiii |
| CAPITULO I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Problema de investigación | 3 |
| 1.2. Objetivo general | 5 |
| 1.2.1. Objetivo específico | 5 |
| 1.3. Hipótesis | 6 |
| 1.3.1. Hipótesis específicas | 6 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. La agricultura protegida | 7 |
| 2.2. Origen y desarrollo del invernadero | 7 |
| 2.3. Clasificación de invernaderos | 8 |
| 2.4. La agricultura protegida en México | 8 |
| 2.5. El cultivo del tomate en la agricultura protegida | 9 |
| 2.6. Situación e importancia del cultivo de tomate en México | 9 |
| 2.7. Origen del tomate | 11 |
| 2.8. El tomate como hortaliza | 11 |
| 2.9. Caracteres botánicos | 11 |
| 2.10. Taxonomía | 12 |
| 2.11. Morfología de la planta de tomate | 12 |
| 2.11.1. Raíz | 12 |
| 2.11.2. Tallo | 12 |
| 2.11.3. Hojas | 13 |
| 2.11.4. Flor | 13 |
| 2.11.5. Fruto | 14 |
| 2.11.6. Semilla | 14 |
| 2.12. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate | 15 |
| 2.12.1. Temperatura | 15 |
| 2.12.2. Luz y fotoperiodo | 16 |
| 2.12.3. Humedad del suelo y humedad relativa | 17 |
| 2.13. Manejo agronómico | 18 |
| 2.13.1. Siembra | 18 |
| 2.13.2. Riego | 19 |
| 2.13.3. Nutrición | 19 |
| 2.13.4. Control fitosanitario | 20 |
| 2.14. El sistema de riego | 20 |
| 2.14.1. Importancia de la hidroponía | 21 |
| 2.14.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 2.14.3. Solución nutritiva..... | 23 |
| 2.14.4. Presión osmótica..... | 26 |
| 2.14.5. pH de la solución nutritiva..... | 26 |
| 2.15. Producción de plántulas de tomate..... | 28 |
| 2.15.1. Tecnología de cepellones..... | 28 |
| CAPÍTULO III. MARCO DE REFERENCIA..... | 29 |
| 3.1. Propiedades de los sustratos..... | 29 |
| 3.1.1. Valores óptimos recomendados por algunos autores para sustratos... | 31 |
| 3.1.2. Clasificación de los sustratos..... | 32 |
| 3.2. Propiedades Físicas..... | 33 |
| 3.2.1. Granulometría..... | 33 |
| 3.2.2. Espacio poroso total..... | 33 |
| 3.2.3. Densidad aparente..... | 34 |
| 3.2.4. Agua fácilmente disponible..... | 35 |
| 3.2.5. Capacidad de aireación..... | 35 |
| 3.3. Propiedades químicas..... | 35 |
| 3.3.1. Potencial de hidrogeno (pH)..... | 36 |
| 3.3.2. Disponibilidad de nutrientes..... | 36 |
| 3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)..... | 36 |
| 3.3.4. Relación C/N..... | 37 |
| 3.3.5. Salinidad conductividad eléctrica (C.E.) y presión osmótica (P.O.)... | 37 |
| 3.3.6. Propiedades biológicas..... | 37 |
| 3.4. Materiales utilizados como sustratos..... | 38 |
| 3.4.1. Zeolitas..... | 38 |
| 3.4.2. Tezontle..... | 39 |
| 3.4.3. Estiércol..... | 39 |
| 3.4.4. Cachaza..... | 40 |
| 3.4.5. Turba..... | 40 |
| 3.4.6. Gallinaza..... | 41 |
| 3.4.7. Aserrín..... | 41 |
| 3.4.8. Arena..... | 43 |
| 3.4.9. Humus de lombriz..... | 43 |
| CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA..... | 44 |
| 4.1. Contexto de investigación..... | 44 |
| 4.2. Materiales e insumos..... | 45 |
| 4.2.1. Invernadero..... | 45 |
| 4.2.2. Sistema de riego..... | 45 |
| 4.2.3. Contenedores..... | 46 |
| 4.2.4. Solución nutritiva..... | 46 |
| 4.3. Sustratos..... | 47 |
| 4.3.1. Determinación de las propiedades físicas de los sustratos..... | 47 |
| 4.3.2. Determinación de pH conductividad eléctrica C.E. (dS m ⁻¹) y partes por millón..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 4.3.5. Semilla..... | 48 |
| CAPÍTULO V. EXPERIMENTO I. Efecto de los sustratos en la producción de plántulas de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) | 50 |
| 5.1. Introducción..... | 50 |
| 5.2. Metodología..... | 50 |
| 5.3. Variables de respuesta..... | 51 |
| 5.3.1. Germinación de la semilla (%)..... | 51 |
| 5.3.2. Emergencia..... | 51 |
| 5.3.3. Dinámica de crecimiento (cm)..... | 52 |
| 5.3.4. Diámetro del tallo en plántula (mm)..... | 52 |
| 5.3.5. Número de hojas de plántula..... | 52 |
| 5.3.6. Calidad de adobe..... | 52 |
| 5.4. Resultados y discusión..... | 53 |
| 5.4.1. Temperatura en el interior del invernadero..... | 53 |
| 5.4.2. Prueba de germinación..... | 54 |
| 5.4.3. Días a emergencia..... | 55 |
| 5.4.4. Dinámica de crecimiento de las plántulas (altura)..... | 57 |
| 5.4.5. Diámetro de tallo..... | 58 |
| 5.4.6. Número de hojas de plántula..... | 59 |
| 5.4.7. Calidad de adobe..... | 60 |
| 5.5. Conclusiones..... | 63 |
| CAPÍTULO VI. EXPERIMENTO II. Efecto de los sustratos en crecimiento y rendimiento del tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill) | 64 |
| 6.1. Introducción..... | 64 |
| 6.2. Metodología..... | 64 |
| 6.2.1. Obtención de Plántulas..... | 64 |
| 6.2.2. Trasplante..... | 65 |
| 6.2.3. Riego..... | 65 |
| 6.2.4. Poda..... | 65 |
| 6.2.5. Tutorio..... | 66 |
| 6.2.6. Manejo fitosanitario..... | 66 |
| 6.2.7. Diseño experimental..... | 67 |
| 6.3. Variables de respuesta..... | 67 |
| 6.3.1. Altura de planta (cm)..... | 68 |
| 6.3.2. Número de flores..... | 68 |
| 6.3.3. Número total de frutos..... | 68 |
| 6.3.4. Rendimiento total por planta (g)..... | 68 |
| 6.3.5. Rendimiento por metro cuadrado (kg/m ²)..... | 68 |
| 6.4. Resultados y discusión..... | 69 |
| 6.4.1. Altura de planta (cm)..... | 69 |
| 6.4.2. Diámetro de tallo..... | 71 |
| 6.4.3. Número de flores..... | 73 |
| 6.4.4. Características de fruto (tamaño anchura y peso)..... | 75 |

| | |
|--|------------|
| 6.4.5. Número de frutos por planta – racimo..... | 77 |
| 6.4.6. Rendimiento por planta/kg m ² | 79 |
| 6.5. Conclusiones..... | 81 |
| CAPÍTULO VII. ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN PARA EL CULTIVO DEL TOMATE EN INVERNADERO EN EL MUNICIPIO DE CHIGNAHUAPAN PUEBLA..... | 82 |
| 7.1. Introducción..... | 82 |
| 7.1.1. Investigación..... | 82 |
| 7.1.2. Divulgación de la tecnología..... | 83 |
| 7.1.3. Asesoría a productores..... | 84 |
| 7.1.4. Vinculación institucional..... | 85 |
| 7.1. 4. Programa de capacitación..... | 85 |
| 7.1.4.1. Tema 1 Manejo del invernadero..... | 86 |
| 7.1.4.2. Tema 2 Tipos de sustratos para la producción..... | 87 |
| 7.1.4.3. Tema 3 Producción de plántulas y trasplante..... | 87 |
| 7.1.4.4. Tema 4 Labores culturales..... | 87 |
| 7.1.4.5. Tema 5 Solución nutritiva y riego..... | 88 |
| 7.1.4.6. Tema 6 Manejo fitosanitario..... | 88 |
| 7.1.4.7. Tema 7 Cosecha..... | 88 |
| CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES GENERALES..... | 90 |
| CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES..... | 91 |
| CAPÍTULO X. BIBLIOGRAFIA..... | 92 |
| ANEXOS..... | 105 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 5.1 Promedio de temperaturas en el interior del invernadero durante el desarrollo del experimento..... | 53 |
| Figura 5.2 Porcentaje de germinación a los 5 y 10 días después de la siembra... | 54 |
| Figura 5.3 Inicio de la germinación de la semilla variedad Sun 7705..... | 56 |
| Figura 5.4 Efecto de los sustratos en la altura de plántulas..... | 57 |
| Figura 5.5 Efecto de los sustratos en el diámetro de tallo..... | 58 |
| Figura 5.6 Efecto de los sustratos en el número de hojas..... | 60 |
| Figura 5.7 Calidad de adobe de los sustratos..... | 61 |
| Figura 6.1 Distribución y distancia de las densidades de plantación en tomate a tresbolillo..... | 67 |
| Figura 6.2 Comportamiento de la altura de plántula después del trasplante..... | 69 |
| Figura 6.3 Dinámica del desarrollo de diámetro de tallo cada 25 días..... | 71 |
| Figura 6.4 Número de flores por racimo..... | 74 |
| Figura 6.5 Promedio de peso de fruto..... | 76 |
| Figura 6.6 Número de frutos por racimo..... | 78 |
| Figura 6.7 Rendimiento de tomate por planta y m ⁻² | 79 |

LISTA DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 2.1 Crecimiento de la superficie en agricultura protegida..... | 9 |
| Cuadro 2.2 Contexto nacional de la producción de tomate en México..... | 10 |
| Cuadro 3.1 Niveles óptimos para las características físicas de sustratos de cultivo..... | 31 |
| Cuadro 3.2 Origen y productos aprovechables en sustratos..... | 32 |
| Cuadro 4.1 Cantidad de fertilizante por litro de agua para preparar la solución nutritiva..... | 46 |
| Cuadro 4.2 Concentración de micronutrientes para soluciones nutritivas..... | 47 |
| Cuadro 4.3 Características físicas y químicas de los sustratos empleados..... | 48 |
| Cuadro 4.4 Relación de la combinación de tratamientos por cada uno de los sustratos y su proporción volumétrica..... | 48 |
| Cuadro 5.1 Análisis de varianza de las variables del experimento 1..... | 53 |
| Cuadro 6.1 Agroquímicos aplicados durante el desarrollo del experimento..... | 66 |
| Cuadro 6.2 Análisis de varianza de las variables del experimento 2..... | 69 |
| Cuadro 7.1 Programa de capacitación..... | 85 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pagina |
|---|--------|
| Cuadro 5.1 Análisis de varianza para el porcentaje de germinación..... | 105 |
| Cuadro 5.2 Análisis de varianza para los días a emergencia..... | 105 |
| Cuadro 5.3 Análisis de varianza para la altura 25 días después de la siembra..... | 106 |
| Cuadro 5.4 Análisis de varianza para el número de hojas 25 días después de la siembra..... | 106 |
| Cuadro 5.5 Análisis de varianza para la altura de planta..... | 107 |
| Cuadro 5.6 Análisis de varianza para la altura 25 días después del trasplante..... | 107 |
| Cuadro 5.7 Análisis de varianza para la altura 50 días después del trasplante..... | 108 |
| Cuadro 5.8 Análisis de varianza para la altura 75 días después del trasplante..... | 108 |
| Cuadro 5.9 Análisis de varianza para la altura 100 días después del trasplante.... | 109 |
| Cuadro 5.10 Análisis de varianza para la altura 125 días después del trasplante.... | 109 |
| Cuadro 5.11 Análisis de varianza para diámetro de tallo..... | 110 |
| Cuadro 5.12 Análisis de varianza del diámetro de tallo 25 días después del trasplante..... | 110 |
| Cuadro 5.13 Análisis de varianza del diámetro del tallo 50 días después del trasplante..... | 111 |
| Cuadro 5.14 Análisis de varianza del diámetro del tallo 75 días después del trasplante..... | 111 |
| Cuadro 5.15 Análisis de varianza del diámetro del tallo 100 días después del trasplante..... | 112 |
| Cuadro 5.16 Análisis de varianza del diámetro del tallo 125 días después del trasplante..... | 112 |
| Cuadro 5.17 Análisis de varianza para variables experimento 2..... | 113 |
| Cuadro 5.18 Prueba de Tukey del número de flores..... | 113 |
| Cuadro 5.19 Prueba de Tukey para frutos por racimo..... | 114 |
| Cuadro 5.20 Prueba de Tukey del tamaño de fruto..... | 114 |
| Cuadro 5.21 Prueba de Tukey para anchura de fruto..... | 114 |
| Cuadro 5.22 Prueba de Tukey de peso de fruto..... | 115 |
| Cuadro 5.23 Prueba de Tukey de kilogramos por metro cuadrado..... | 115 |
| Cuadro 5.24 Prueba de Tukey de kilogramos por planta..... | 115 |
| Cuadro 5.25 Prueba de Tukey de frutos por racimo..... | 116 |
| Cuadro 5.26 Análisis de agua..... | 116 |

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En México, el tomate o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L) su importancia radica en que posee cualidades muy esenciales para adecuarse a la dieta alimenticia, sea para su consumo en fresco o procesado, ya que representa una rica fuente de sales minerales y de vitaminas A y C principalmente, además de utilizarse en la industria cosmética, farmacéutica y ornamental.

Desde el punto de vista económico, el tomate es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera; además, es el principal producto hortícola de exportación,

El tomate en el municipio de Chignahuapan, Puebla, es el principal cultivo producido bajo condiciones de invernadero tipo túnel, conocido también como “rústico” en traspatio (OEIDRUS, 2008) los sistemas de producción de esta hortaliza se han ido diversificando con el fin de incrementar el rendimiento, incorporando tecnologías novedosas como cubiertas plásticas, riego por goteo, entre otras; aunque todavía no se ha explorado el sistema hidropónicos que ofrece un mayor control de los factores de producción (Howard, 1998).

El cultivo de tomate requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr el aumento de la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito es el sustrato o medio de crecimiento (Cabrera, 1999; Howard, 1998; Morel *et al.*, 2000). La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos o medios de crecimiento es crucial para su uso efectivo y en gran medida condiciona el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio en que se desarrollaran las raíces las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de éstas (Unver *et al.*, 1998; Bruckner, 1997; Lemaire, 1997).

En la revolución tecnológica y modernización de la actividad agrícola los sustratos o medios de crecimiento tienen un papel fundamental en los invernaderos frutícolas, hortícolas, ornamentales y forestales (Pastor, 2000). Los sustratos son una base para mejorar diversas

composiciones de una región en particular, esperando con ello mejorar la producción y reducción de costos (Ocampo, 2005).

La selección ideal del sustrato para un cultivo permite optimizar la producción en los invernaderos y evitar el agotamiento del suelo, cuando este ha sido el principal sustrato empleado. La mayor parte de la investigación sobre sustratos como medio de crecimiento se ha desarrollado en especies ornamentales, y entre los más utilizados se encuentra la turba, tierra de monte, arena de río, perlita, vermiculita, agrolita y compostas, entre otros.

Desde el punto de vista agrícola deben generarse tecnologías propias a las condiciones de cada región y que sean factibles de llevarse a la práctica por los productores (Sánchez, 1983).

El municipio de Chignahuapan, Puebla, es una zona industrial donde existe una gran cantidad de aserrín de pino (*Abies religiosa*) que es un producto residual de la explotación maderera, al que finalmente para eliminarlo se quema; de igual forma abunda el tezontle rojo y la composta basada en estiércol de ovino, la cual los productores saben prepararla; que al emplear la hidroponía o el fertirriego, podrían usarse como materiales locales con el fin de mejorar el rendimiento del cultivo de tomate e incluso como mezclas ya que presentan mejores características fisicoquímicas (Bures, 2002). Además, es una alternativa para ampliar las opciones agrícolas que los agricultores puedan tener para aprovechar al máximo sus recursos disponibles.

Los sustratos más utilizados en el cultivo del tomate que han mostrado buenos resultados en crecimiento, desarrollo y producción son la turba y el polvo de coco; sin embargo, en el municipio Chignahuapan resulta complicada y costosa la adquisición de estos, por lo que se hace necesario la búsqueda de sustratos locales que proporcionen mejores rendimientos y facilidad en las labores agronómicas para el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero tipo traspatio.

Una forma de evaluar el impacto de los sustratos locales, es mediante la investigación de los que se han identificado, como son: el aserrín de pino (*Abies religiosa*) que se encuentra en

abundancia, siendo un subproducto residual de los aserraderos y que actualmente no es utilizado; el tezontle rojo, la composta de ovinos y, tierra agrícola (suelo local); estos materiales juegan un papel importante en la producción de cultivos hortícolas.

Se espera con los resultados que genere este proyecto, sean retomados posteriormente por las agricultoras y agricultores de la región, que trabajan el cultivo de tomate bajo condiciones de invernaderos tipo traspatio.

1.1. Problema de investigación

En el municipio de Chignahuapan, Puebla se han incorporado nuevas tecnologías agrícolas entre las más importantes están los invernaderos tipo túnel de 60 m² y el fertirriego, e hidroponía con la finalidad de asegurar alimentos para la familia y vender los excedentes, estos en ocasiones son gestionados por los jefes de familia, pero las labores agronómicas así como su manejo son realizados principalmente por mujeres debido a que los hombres han emigrado o realizan actividades distintas

En la producción de plántulas y hortalizas, se han aplicado técnicas innovadoras que han permitido cambios substanciales rápidos y novedosos en las últimas décadas. El uso de invernaderos con dimensión diversa a las necesidades de los productores, ha constituido una base para aumentar la productividad de los cultivos y calidad de la cosecha (Cadahia, 2000).

Dentro de estos cambios tecnológicos, se puede decir que el cultivo tradicional en el suelo ha sido sustituido por el cultivo sin suelo. Aunque existen varias razones, la principal es la fuerte intensificación de cultivos que facilite el cultivo hidropónico o fertirriego en sustratos (Abat *et al.*, 1993). Por otra parte, permitir un riguroso control del medio ambiente radicular en la planta, que está relacionada con el suministro de agua y nutrientes.

Uno de los problemas más importantes del cultivo de plantas en sustrato, es la existencia de un error conceptual en la mayor parte de los establecimientos comerciales, donde se prioriza el costo económico y la simplicidad de la mezcla (un único sustrato de crecimiento para un

número excesivamente grande de especies), en lugar de intentar satisfacer los requerimientos de cada especie cultivada. Las razones para que ello ocurra se encuentran en un desconocimiento de la respuesta a diferentes combinaciones de la mayor parte de las especies (Di Benedetto, *et al.*, 2000).

Los sistemas de cultivo sin suelo de hortalizas que se están utilizando actualmente son: cultivos en sacos de arena, cultivos en sacos de perlita, cultivos en lana de roca, cultivos en materiales orgánicos e inorgánicos (Cadahia, 2000). Existen una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, época, sistema de propagación, precio, disponibilidad y características propias del sustrato (Hartmann y Kester, 2002).

El productor que ha decidido utilizar como medio de cultivo un sustrato agrícola, debe decidir si lo compra listo para ser usado o si adquiere los materiales en forma separada para, posteriormente, preparar la mezcla más adecuada a sus necesidades. Muchas veces el desconocimiento de los pasos y materiales involucrados en la preparación de las mezclas de sustratos conducen al agricultor a tomar decisiones equivocadas (Nelson, 1998).

La falta de información sobre los sustratos locales, el manejo, uso y aprovechamiento de los invernaderos gestionado para seguridad alimentaria y, cultivo de hortalizas, entre los que se encuentra el cultivo de tomate; el intercambiar experiencias y mejorar su situación con los invernaderos; además de conocer qué tanto sabe sobre este cultivo, son algunos de los elementos relacionados con la problemática local.

Por otra parte, se ha destacado el papel importante que juegan los sustratos comerciales en la producción de plántulas, así como en el crecimiento y desarrollo de las plantas; sin embargo, estos son de alto costo y no están al alcance del productor o productora local, pues son abastecidos a los distribuidores o casas comerciales por empresas que importan estos materiales de otros países a precios poco accesibles.

En consecuencia, el precio del sustrato ha de ser accesible y lo más económico posible. Como es lógico, el precio acostumbrado es elevado para aquellos materiales cuyos centros de consumo se encuentran alejados de los puntos de extracción o fabricación (es el caso de las turberas). Esto ha abierto nuevas expectativas de materiales que hasta hace poco tiempo no eran considerados (Nelson, 1998; Pastor, 2000).

No obstante, a pesar de que existe un conocimiento local sobre el uso y manejo de composta de ovino, con un impacto positivo en la producción de algunas especies en invernaderos, aun falta por realizarse un estudio, que indique la respuesta óptima a sustratos locales y se reconozca que puede haber una alternativa viable a la producción de plántulas y cultivo de tomate, además de evaluar con información de manera sistematizada la respuesta a los sustratos, como el aserrín, composta de estiércol de ovino y tezontle.

Para el cultivo de tomate local, poco se ha explorado en los sistemas hidropónicos y los cultivos que requieren de sustratos o medios adecuados de crecimiento, por lo que es necesario la evaluación de aserrín de pino, tezontle rojo, composta de estiércol de ovino y tierra agrícola; los cuales son productos de fácil adquisición y bajo costo en la región.

En la presente investigación los objetivos e hipótesis planteados fueron:

1.2. Objetivo general

Evaluar el efecto de distintos sustratos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Sun 7705 bajo condiciones de invernadero rústico

1.2.1. Objetivo específico

1.- Evaluar el efecto de diferentes sustratos en la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivado en condiciones de invernadero tipo túnel (“rústico”).

2.- Evaluar el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivado en condiciones de invernadero tipo túnel (“rústico”).

3.- Generar una estrategia de divulgación para la producción de plántulas y producción de tomate

1.3. Hipótesis

Existen diferencias en calidad de plántula, crecimiento y producción de tomate por el uso de diferentes sustratos, bajo condiciones de invernadero tipo túnel (“rústico”)

1.3.1. Hipótesis específicas

1.- Hay variación en los parámetros morfológicos de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero tipo túnel (“rústico”).

2.- Hay variación en los parámetros morfológicos y de producción en tomate cultivado en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero tipo túnel (“rústico”).

3.- Es posible desarrollar una estrategia de divulgación para la producción de plántulas y fruto de tomate con los resultados obtenidos en la evaluación de diferentes sustratos, en invernaderos tipo túnel (“rústicos”), manejados por la unidad familiar.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. La agricultura protegida

Se define a la agricultura protegida como una serie de técnicas o sistemas de producción que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y, con ello, un alto rendimiento, o bien obtener cosechas en fechas en las que con los cultivos conducidos tradicionalmente no pueden obtenerse si no es con un alto riesgo. (Chapingo, 2009).

El invernadero es una estructura con cubierta transparente a los rayos solares, empleadas en la producción de plantas, independiente de la época y de las estaciones del año. Es una herramienta productiva de alta tecnología, en las cuales los agricultores se apoyan para obtener altos rendimientos. Los especialistas destacan que este sistema productivo es capaz de aportar cosechas fuera de la época normal en que aparecen en el mercado o se encuentran a campo abierto (AMCI, 2008).

Para Bastida (2007), el invernadero representa la herramienta clave de la agricultura protegida y puntualiza dos aspectos importantes, el primero es la eficiencia e idoneidad para condicionar algunos de los principales elementos del clima dentro de límites determinados de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo; y la segunda es la funcionalidad, definida como el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto técnico como económico.

2.2. Origen y desarrollo del invernadero

Los comentarios de la historia no registran con precisión a quien corresponde el mérito de haber inventado el cultivo protegido de plantas. Algunos historiadores afirman que fueron los egipcios mientras que otros lo atribuyen a los romanos, aunque también existen referencias a estructuras y prácticas para proteger cultivos entre los griegos, los judíos, chinos y otros pueblos de la antigüedad (Pinske, 1998).

En los plásticos, podemos ubicar la transformación tecnológica más reciente en la agricultura, pues estos permiten desarrollar cubiertas, mangueras o conductos, recipientes, dispositivos de riego y de tutorio, productos de manejo y de empaque; que posibilitan el manejo de variables como temperatura, control de plagas, humedad y riego, permitiendo, junto con el desarrollo de variedades de plantas y el avance en la ciencia de la nutrición y la sanidad, una verdadera revolución en el nivel de producción, que hacen de la actividad agrícola una actividad independiente de la estacionalidad típica de todas “las agriculturas” anteriores (Papaseit, *et al.*, 1997).

2.3. Clasificación de invernaderos

Pieter de Rijk (2008), clasifican los invernaderos según su nivel tecnológico donde el de nivel bajo es aquel 100% dependiente del ambiente, uso de tecnologías simples similares a utilizadas en cultivo a intemperie, nivel medio es semiclimatizado, riegos programados, suelo o hidroponía y el nivel alto climatización automatizada (mayor independencia del clima externo), riegos, computarizados, inyecciones de CO₂, y uso de sustratos.

2.4. La Agricultura protegida en México

Los primeros invernaderos operados con fines de producción comercial aparecieron en los 70's. Tenían como objetivo la producción de plántula para los productores de hortalizas de campo abierto en la región norte y centro del país. Inicialmente se instalaron cerca de la costa y poco a poco fueron desplazándose hacia zonas más elevadas. Estos invernaderos fueron importados, principalmente de Holanda, Israel, España, Canadá y Francia, a partir de 1980 los productores de flores adoptaron la tecnología de invernaderos principalmente con diseños provenientes de Israel y Colombia. Sin embargo, es en el periodo 1985-1990, cuando la tecnología de agricultura protegida se adopta para la producción de hortalizas y flores (AMCI, 2008).

México es uno de los países en que la agricultura protegida está en expansión en 1980 con una superficie de 300 ha. En 1999 aumentó a 721 ha y 2008 alcanzó la cifra de 9.958 ha (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Crecimiento de la superficie en agricultura protegida

| Año | Superficie (ha) |
|------|-----------------|
| 1980 | 300 |
| 1999 | 721 |
| 2005 | 3,214 |
| 2008 | 9,948 |

Fuente: (AMPHI, 2008)

2.5. El cultivo del tomate en la agricultura protegida

El sistema de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones protegidas es relativamente nuevo, generando un impacto importante en los últimos años, por su incremento en área, productividad, rentabilidad y calidad del producto. El rendimiento promedio obtenido con este sistema es entre 5 y 8 kg/planta, superando tres veces el que se obtiene a libre exposición, que está entre 1,5 y 2 Kg/planta. Este sistema de producción se caracteriza por la protección mediante estructuras levantadas, y cobertura de plástico, con el fin de evitar el impacto de la lluvia sobre el cultivo y su manejo tecnológico es igual al que tradicionalmente se le hace al cultivo de tomate a libre exposición (Jaramillo *et al.*, 2006).

2.6. Situación e importancia del cultivo de tomate en México

El tomate a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.) se cultiva en diversos países, no obstante más del 50% de la producción se concentra en cinco países: China (26.7%), Estados Unidos (9.1%), Turquía (7.9%), India (6.8%) y Egipto (6.0%). En México el uso intensivo de tecnologías de producción permiten que el cultivo se lleve a cabo en los dos ciclos agrícolas: en el otoño - invierno se produce un 55% y el resto en primavera – verano. La producción de tomate en 2008, fue de 2.3 millones de toneladas, lo que representó un decremento del -4.1% respecto al año anterior, y un 11.2% con respecto a 2006. En el periodo comprendido entre 2002 y 2008,

la producción presenta una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) del 2.6%. Para 2009 se estimó un crecimiento de 2.7% en la producción, ubicándola en 2.4 millones de toneladas (SIACON, 2008).

Cuadro 2.2 Contexto nacional de la producción de tomate en México

| año | Producción ¹ | Superficie ² | | Rendimiento ³ | | Precio | | Valor |
|------|-------------------------|-------------------------|-----------|--------------------------|----------|------------------|-----------------|-------------------------|
| | | sembrada | cosechada | riego | temporal | R+T ⁴ | MR ⁵ | Producción ⁶ |
| 2002 | 1.9 | 69.8 | 67.3 | 31.4 | 18.8 | 29.5 | 3,123.9 | \$6,216.5 |
| 2003 | 2.1 | 70.3 | 67.6 | 33.8 | 21.8 | 32.1 | 4,226.1 | \$9,175.7 |
| 2004 | 2.3 | 75.6 | 71.5 | 34.1 | 18.5 | 32.3 | 6,210.4 | \$14,374.8 |
| 2005 | 2.2 | 74.3 | 71 | 33.1 | 21.1 | 31.6 | 4,413.7 | \$9,914.2 |
| 2006 | 2 | 66.5 | 63.9 | 34.7 | 20.4 | 32.7 | 5,882.4 | \$12,314.4 |
| 2007 | 2.4 | 66.6 | 64.7 | 40.1 | 22 | 37.4 | 4,752.8 | \$11,527.6 |
| 2008 | 2.3 | 57.4 | 55.9 | 45.5 | 21.3 | 41.6 | N/D | N/D |

¹ millones ton, ² millones ha, ³ ton/ha, ⁴ Riego + Temporal, ⁵ Precio Medio Rural en pesos, ⁶ Valor de la producción en millones de pesos. N/D Cifra no disponibles. Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON y SIAP.

En 2008, la superficie sembrada de tomate a nivel nacional mostró un decremento de -13.8% respecto al año anterior si bien existe producción de tomate en todas las entidades del país, seis son las que concentran más del 69% de la producción nacional Sinaloa es el principal productor a nivel nacional, produjo 852.7 mil toneladas, lo que representa el 36.6% de la producción nacional. Baja California como segundo estado productor, se estima que la producción total fue de 206.2 mil toneladas y Michoacán se estima que produjo 175.7 mil toneladas. La TMAC en el periodo 2002-2009 se ubicó en -5.5% reflejo de una tendencia a la baja en la producción de la cual el 91.5% corresponde a la modalidad de riego y el otro 8.5% corresponde a la modalidad de temporal. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) México es el principal exportador de tomate en el mundo. En el periodo 2002-2006, la TMAC de las exportaciones se ubicó en 5.0% Se estima que un poco más del 95% de las exportaciones de tomate fresco y derivados se envían a los Estados Unidos, y en menor medida a Canadá, Japón y Francia, entre otros. En los últimos diez años las exportaciones del tomate fresco destinado a Estados Unidos aumentó cerca del 67% (SIACON, 2009).

2.7. Origen del tomate

El tomate es originario de América tropical, y de manera más precisa en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres; excepto *Lycopersicon cheesmanii* Riley, el cual se origina en las Islas Galápagos. Sin embargo, existen evidencias de que fue domesticado en México (Jenkins, 1948, citado por George, 1999; Rodríguez *et al.*, 2001).

2.8. El tomate como hortaliza

Para el consumidor, uno de los atractivos mayores de cualquier producto es su diversidad. El tomate es una hortaliza que presenta una extensa variedad de tipos; los hay con distinto aspecto exterior (forma, tamaño, color) e interior (sabor, textura, dureza); y variedades destinadas para consumo en fresco o procesado industrial. En general, las características más apreciadas del jitomate para consumo en fresco son un color y un sabor atractivo y gran versatilidad del producto: se puede servir crudo, cocido, estofado, frito, encurtido, como una salsa o en combinación con otros alimentos.

Es una de las especies hortícolas de gran importancia económica y nutricional; en el caso de la parte nutricional se reporta que es fuente de proteína y vitamina C en altos contenidos, así como de hierro y vitamina A. Pocos productos agrícolas se presentan para tantos usos como el jitomate, debido a que se le puede usar como ingrediente en la cocina y consumo en fresco y procesado en forma de pasta, salsa, jugo, o polvo (Villareal, 1982).

2.9. Caracteres botánicos

El tomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, denominada científicamente *Lycopersicon esculentum* Mill. o *Lycopersicon lycopersicum* L. potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual con distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.10. Taxonomía

| | |
|-----------|--------------------------------------|
| Clase | Dicotiledónea |
| Orden | Tubliforae |
| Familia | Solanaceas |
| Género | Lycopersicon |
| Subgénero | Eulycopersicon |
| Especie | <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. |

2.11. Morfología de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

2.11.1. Raíz

La planta presenta una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radical puede ser modificado por las prácticas culturales, de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez *et al.*, 2001), donde las raíces laterales y adventicias crecen tanto como la principal (Curtís, 1996).

El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 metros de profundidad, y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del terreno (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.11.2. Tallo

El tallo es erguido y cilíndrico en planta joven, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas (vellosidades) en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. El tallo puede llegar a medir de 40 a 250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento indeterminado (Rick, 1978; Rodríguez *et al.*, 1984; Valdez, 1990).

Cuando la ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en consecuencia el crecimiento vertical, en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma también una nueva rama dando origen a un crecimiento ilimitado (Garza, 1985).

2.11.3. Hojas

Las hojas son cortas, de tamaño medio o largas y tipo patata (George, 1999). Son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño (Huerres y Caraballo, 1988). La disposición de nervaduras en los foliolos es penninervia (Rodríguez *et al.*, 2001; Garza, 1985).

2.11.4. Flor

La flor se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56 a 76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales (Rodríguez *et al.*, 2001). Cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento determinado, si la alternancia es más espaciada la planta se dice de crecimiento indeterminado. Normalmente entre las primeras predomina la precocidad y el porte bajo, y las segundas son más tardías y de porte alto.

La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán origen a los lóculos o celdas del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001). Las flores son hermafroditas, hipoginas y regulares (Wien, 1997). El cáliz está compuesto de seis

sépalos y la corola de seis pétalos amarillos. Los estambres, en un número de seis, se reúnen formando un tubo alrededor del gineceo. La dehiscencia se produce por la mañana generalmente, el estigma es receptivo a su propio polen o a otro; la receptividad que comienza dos horas antes de la dehiscencia y se prolonga de 4 a 8 horas. El estilo es más corto o tan largo como los estambres; posición que favorece considerablemente la autopolinización. El alargamiento del estilo se acentúa en clima tropical debido a las temperaturas elevadas, de tal forma que en esas condiciones, se puede observar una polinización cruzada natural (Curtis, 1996).

2.11.5. Fruto

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001; Curtis, 2001; Valadez, 1990). Botánicamente, un fruto de tomate es una baya compuesta de varios lóculos, consistente de semillas dentro de un pericarpio carnoso desarrollado de un ovario. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada; están compuestos de carne (paredes del pericarpio carnoso desarrollado de un ovario). Una variedad comercial contiene alrededor de 150 a 300 semillas por fruto (Desai *et al.*, 1997).

2.11.6. Semilla

La semilla es de diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3 y 5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300 a 350 semillas (Rodríguez *et al.*, 2001; Huerres y Caraballo, 1988). El peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g (Desai *et al.*, 1997). En producciones bajo invernadero, 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla (1200 semillas aproximadamente). En campos de producción la regla es: el 1% del peso del fruto es el peso de semilla. En U.S.A. para cultivares del tipo determinado, el rendimiento es de 250 y 400 kg/ha⁻¹ de semilla. En África se reportan rendimientos de 10 a 50

kg/ha⁻¹. El peso de mil semillas producida en condiciones de invernadero es de 3.3 g en cultivares de tipo determinado y el peso en campo es de 2.5 g (George, 1999; George, 1989).

2.12. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate

2.12.1. Temperatura

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta: transpiración, fotosíntesis, germinación, entre otras. Es una planta de clima cálido que requiere de mucho calor; para el tomate, las temperaturas óptimas según el ciclo de vida son las siguientes: temperaturas nocturnas entre 15 y 18°C, temperaturas diurnas 24 a 25°C, y temperatura ideal en la floración de 21°C (Rodríguez *et al.*, 2001). El tomate es clasificado dentro de las hortalizas tolerantes al calor, como aquellas que a temperaturas menores de 8°C detienen su crecimiento. La temperatura óptima es de 24°C, la mínima de 10°C y la máxima de 32°C (Castaños, 1993).

Los principales agentes del medio físico, como la temperatura, la luz y la humedad juegan un papel importante para que los procesos fisiológicos de “cuajado” y “amarre” de fruto se produzcan de forma normal (Maroto, 2002). Cuando se presentan temperaturas altas (mayores de 38°C) durante 5 a 10 días antes de la antesis, se reduce el “amarre” de fruto debido a que se destruyen los granos de polen (microsporositos) por deshidratación, interrumpiendo así el proceso de gametogénesis (formación de óvulos y polen); también se puede propiciar la formación de polen estéril. Si las temperaturas elevadas prevalecen durante 1 a 3 días después de la antesis, el embrión es destruido. Cuando las temperaturas nocturnas son altas (25 y 27°C) antes y después de la antesis, el “amarre” de fruto también es bajo. A temperaturas de 10°C o menores, un gran porcentaje de flores abortan y la producción de polen es afectada y después la microsporogénesis (Maisonneuve y Philouze 1982, citado por Wien 1997; Maroto, 2002).

La temperatura óptima para la maduración del fruto es entre 18 y 24°C, al respecto Salunkhe y Kadam (1998), mencionan que el rango óptimo es entre 15 y 20°C. Por otro lado, si la temperatura es menor a 13°C, los frutos tienen una maduración muy pobre; situación similar sucede cuando la temperatura es mayor a 32°C, debido a que la coloración roja (licopeno) es

inhibida y los frutos se tornan amarillos (Valadez, 1990). Al respecto, se ha observado que para determinadas condiciones de iluminación, edad de la planta, entre otras, el mayor desarrollo vegetativo en el tomate se consigue con temperaturas diurnas de 23°C y temperaturas nocturnas de 17°C (Maroto, 2002).

2.12.2. Luz y fotoperiodo

La planta de tomate se desarrolla mejor con alta intensidad luminosa, cuando ésta es baja, se afecta la apertura de los estomas y disminuye el número de éstos por milímetro cuadrado. Investigaciones realizadas con cuatro variedades de tomate en condiciones controladas aplicando 6 000 lx durante 12 h y 3 000 a 6 000 lx durante nueve h con temperatura nocturna de 14°C y 18°C de día, mostraron una mayor intensidad de la fotosíntesis en el rango de 3 000 a 6 000 lx, y tuvieron el mayor crecimiento. Cuando se compararon las plantas expuestas a 6 000 lx con plantas a 8 000 lx, bajó la intensidad fotosintética en las últimas (Huerres y Caraballo, 1988). Al respecto, Guenkov (1966), menciona que el tomate es exigente en cuanto a la luz, que son necesarios 5 000 lx para que se formen buenos frutos de maduración precoz. La luminosidad tiene gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodismo, así como en el crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos; en virtud de que el rendimiento de fruto esta positivamente relacionado con la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y el ciclo del mismo (Rodríguez *et al.*, 2001; Cockshull *et al.*, 1992 citado por Wien, 1997).

El desarrollo normal de los tomates se lleva a cabo con días entre 11 y 12 horas, con días más largos las plantas tienen un fructificación precoz. Algunos autores plantean que el tomate es una planta de día corto, pero, la mayoría considera que es indiferente al fotoperiodo en lo que concierne a su floración, la longitud del día tiene bastante importancia en su crecimiento vegetativo. Lo cierto es que las condiciones de duración del día imperantes por ejemplo en Cuba (10, 5-13, 5) no ha constituido un obstáculo para la floración y fructificación (Huerres y Caraballo, 1988; Maroto, 2002).

En trabajos de control ambiental en invernadero, se ha constatado que con la variedad *cv Dombito*, la fecha de recolección estaba inversamente correlacionada con la aportación cuantitativa de iluminación recibida durante la fase de semillero, mientras que el peso de los frutos estaba positivamente correlacionado con la intensidad de la luz recibida durante la fase de producción y, mostrándose la aportación lumínica como el factor más efectivo en el desarrollo de los frutos y su iniciación, cuando se aportaba entre 15 y 45 días tras la floración (Maroto, 2002).

2.12.3. Humedad del suelo y humedad relativa

La exigencia del tomate en cuanto a la humedad del suelo es media, influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50%, y suelos no encharcados (Rodríguez *et al.*, 2001). Los periodos críticos de humedad en las plantas de crecimiento determinado son: después del trasplante, poco consumo de agua; en floración e inicio de fructificación, gran demanda de agua; en la etapa de maduración de fruto, poco consumo de agua (Huerres y Caraballo, 1988). La disponibilidad de agua, también puede afectar la formación de flores y posteriormente la disminución de frutos. La media del número de flores por racimo, decrece cuando disminuye el suministro de agua (Wudiri y Henderson, 1985 citados por Wien, 1997). Al reducirse el 25% de la disponibilidad de agua que el cultivo demanda por evapotranspiración, se llega a reducir en un 40% y hasta 90% el número de flores formadas dependiendo del cultivar, y se produce un estrés severo causando efectos negativos (Wien, 1997).

Resh (1993), menciona que se ha demostrado que una humedad relativa del 70% es la mejor para la polinización, “cuajado” de fruto y posterior desarrollo de éste. Humedad del ambiente mayor de 70% disminuye la posibilidad de que se transfiera suficiente polen al estigma. Por otro lado, humedad demasiado seca (humedad relativa inferiores al 60 – 65%) causa la desecación del polen.

2.13. Manejo agronómico

2.13.1. Siembra

Las semillas de tomate son usualmente germinadas en viveros, se utilizan camas y posteriormente se trasplantan en campo. Cerca de 500 g de semilla serán suficientes para sembrar una hectárea en campo (Salunkhe y Kadam 1998; Desai *et al.*, 1997). Por su parte, Castaños (1993), señala que son necesarios entre 1 y 1.5 kg/ha⁻¹ para siembra directa, al considerar una distancia entre camas de siembra de 1.50 a 1.84 m, y entre plantas de 25 cm; el suelo debe estar bien drenado, con texturas ligeras y/o pesadas, con un pH entre 5.5 y 6.8. La siembra puede ser directa o por trasplante, la siembra directa se usa particularmente cuando el cultivo será cosechado con maquinaria (Salunkhe y Kadam 1998), mientras que por trasplante se requieren de 35 a 49 días en almácigo. En semillero, 60 g de semilla sembrada en 250 m² producirá suficientes plantas para una hectárea. Al respecto, Salunkhe y Kadam (1998), mencionan que las plántulas estarán listas para ser trasplantadas entre 3 y 4 semanas, toda vez que las temperaturas del ambiente sean entre 21 y 24°C o bien una temperatura media de 18°C. Cuando la siembra es directa, la dosis de siembra es entre 500 y 1000 g/ha⁻¹, la densidad de plantación depende del tipo de crecimiento, pero la decisión final dependerá del cultivar, sistema de riego y si se utiliza o no soporte, entre otros. En producción bajo invernadero la densidad de plantación es aproximadamente 30 000 plantas ha⁻¹ (George, 1999). Por lo que, en un invernadero tipo túnel “rústico” tipo traspatio (60 m²) se estima alrededor de 180 plantas.

El método de siembra mecanizado o siembra directa, se ha generalizado mucho por el ahorro de fuerza de trabajo que representa, y el tiempo breve en que se lleva a cabo. Para el método de trasplante o semillero, se establecen determinadas normativas con vistas a hacer un uso racional de los recursos, óptima utilización del área y buen manejo de los factores que influyen en el establecimiento del cultivo y en su buen desarrollo. En siembra directa, utilizada para mayores áreas, el inconveniente es que se requiere de maquinaria especializada (sembradora de precisión) que haga la siembra a la densidad requerida sin pérdidas de semilla. Este método tiene la ventaja de posibilitar que las plantas se desarrollen más vigorosas,

alcancen un sistema radical más profundo, con mayor resistencia a la sequía y ahorro de fuerza de trabajo manual (Huerres y Caraballo, 1988).

2.13.2. Riego

El riego es empleado para mantener la humedad del suelo, su frecuencia depende del tipo de suelo, de la estación y la variedad. Existen distintos sistemas de riego como el localizado, donde la aplicación de agua es en una zona más o menos restringida del volumen radicular, dentro del cual se encuentra el riego por goteo, donde se aplica un caudal no superior a los 15 L/h⁻¹, por punto de emisión o metro lineal de manguera; el de miniaspersión son sistemas con un caudal superior a los 15 L/h⁻¹, e inferior a los 200, por puntos de emisión y los difusores tienen un caudal similar a los miniaspersores su diferencia radica en las salidas fijas (Bautista y Alvarado, 2006).

2.13.3. Nutrición

La nutrición de tomate juega un papel muy importante si se desea incrementar la productividad de las plantas y la calidad de los frutos. Muchos de los trabajos realizados muestran que el tomate demanda grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio. Un rendimiento alrededor de 40 t de fruto requiere cerca de 93 kg/N ha⁻¹, 20 kg/P ha⁻¹ y 126 kg/K ha⁻¹. Los fertilizantes aplicados al suelo se calculan de acuerdo con la fertilidad de éste. Las siguientes dosis se aplican a suelos de baja fertilidad: 75-100 kg/N ha⁻¹, 150-200 kg/P ha⁻¹ y 150-200 kg/K ha⁻¹ (George, 1999).

Se necesita un nivel alto de fósforo asimilable para la producción de semilla de calidad cuando las plantas se cultivan bajo invernadero (George *et al.*, 1980; citado por George, 1999).

El fósforo y el potasio se aplican antes del trasplante cuando se cultiva en suelo y para producción de fruto; mientras que el nitrógeno, se distribuye en tres etapas: la primera antes del trasplante, la segunda después de mes y medio, y la tercera en la floración (Salunkhe y Kadam, 1998). En el noroeste de México se utiliza el potasio en cantidades entre 200 y 225

kg/ha⁻¹; en otras zonas productoras no se aplica, o se hace en cantidades de 80 kg/ha⁻¹ en una sola aplicación, junto con el fósforo y la primera parte de nitrógeno (Benítez, 1999).

2.13.4. Control fitosanitario

El control de malezas, debe iniciarse cuatro semanas después del trasplante, además de que el cultivo se debe supervisar constantemente para evitar el ataque de plagas y enfermedades como Tizón, Botrytis, Fusarium, Nematodos, Mosquita blanca, Gusanos, entre otros, y ser controladas oportunamente (Benítez, 1999).

2.14. El sistema de riego

La combinación de agua de riego y fertilizantes incrementa notablemente la eficiencia en la aplicación de los nutrimentos, permite obtener mayor rendimiento, mejor calidad con una mínima polución del medio ambiente, y se puede lograr mediante la hidroponía (Martínez, 2005). El término hidroponía etimológicamente, deriva de los vocablos griegos “hidro” o “hudo”, que significa agua, y “ponos” equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como “trabajo en agua” o “actividad en agua” (Sholto, 1987; Sánchez y Escalante, 1988).

Sholto (1987), dice que la hidroponía efectivamente se deriva de las dos palabras griegas descritas anteriormente y lo traduce como “agua trabajando,” no obstante este significado es una alusión al empleo de soluciones de agua y fertilizantes químicos para el cultivo de plantas sin tierra, en contraposición al cultivo normal en tierra o geoponía (trabajo de la tierra). Sin embargo, menciona que la definición más generalizada de cultivos hidropónicos, es tal como aparece en las enciclopedias y diccionarios modernos; se refiere al cultivo de plantas sin utilizar tierra, nutridas por soluciones de agua y sales minerales, sustituyendo los métodos generales de cultivo, los cuales siguen siendo los preferidos por los agricultores.

Sánchez y Escalante (1998), definen a la hidroponía como un sistema de producción en el que, las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos

en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un mineral inerte, o simplemente la misma solución. Aunque recientemente se están utilizando sustratos orgánicos en los invernaderos (Cadahia, 2000).

Existen otros términos que se usan como sinónimos de la palabra hidroponía, tales como: cultivo sin suelo, nutricultura, quimiocultura, cultivos artificiales y agricultura sin suelo (Sánchez y Escalante, 1998., Cadahia, 2000).

2.14.1. Importancia de la hidroponía

Varios autores (Sholto, 1987; Sánchez y Escalante, 1988; Resh, 1992), coinciden en que la hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola y tiene gran importancia dentro de los contextos ecológicos, económico social. Los autores consideran que dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de ampliarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones y para diversos usos.

Sánchez y Escalante (1988), reportan que la hidroponía es una rama establecida y en pleno crecimiento de la agronomía, sobre la cual se realizan numerosas investigaciones tendientes, por un lado, a reducir costos de operación y producción. Además busca sistemas más accesibles para los productores como diseñar aparatos y equipos que tiendan a aumentar los rendimientos; y en el otro aspecto a enriquecer el avance científico y tecnológico, propios de los campos de fisiología, ecología y genética en las plantas.

Con el desarrollo de los plásticos, los cultivos hidropónicos tuvieron avances muy significativos; estos libraron a los agricultores de las costosas construcciones unidas a las bancadas de hormigón y tanques utilizados anteriormente. Además el desarrollo de bombas apropiadas, relojes, tuberías de plástico válvulas solenoides y otros equipos han podido automatizar por completo el sistema hidropónico, reduciendo el capital y los costos operacionales; en la actualidad, los cultivos hidropónicos han llegado a ser una realidad para los productores en invernadero, virtualmente en todas las aéreas climáticas existiendo grandes instalaciones hidropónicas a través del mundo (Resh, 1992).

El cultivo de plantas sin tierra se encuentra oficialmente considerado como una industria de índole biológica y de categoría inmediata, ubicada entre la agricultura y la manufactura (Sholto, 1987).

Sholto (1987), afirma que los cultivos hidropónicos representan la aplicación práctica de la teoría de la nutrición inorgánica en las plantas, debido a que son capaces de elaborar las sustancias orgánicas con un suplemento de luz temperatura y agua.

Los sistemas hidropónicos pueden ser clasificados como:

- Sistemas de circuito abierto donde una vez que ha sido suministrada la solución nutritiva a la planta, no se vuelve a utilizar.
- Sistema de circuito cerrado donde la solución es captada en un tanque de almacenamiento; se repone el agua evapotranspirada verificando el pH y conductividad eléctrica y nuevamente es reciclada (Jensen y Collins, 1985)

2.14.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía

La hidroponía se puede constituir, así, en una importante industria de índole biológica, entre la agricultura y la manufactura de los cultivos, ya que al aprovechar esta técnica de producción controlada, presenta una serie de ventajas y desventajas en los cultivos hidropónicos (Baca, 1999; citado por García, 2000; Samperio, 1997).

Ventajas

- Reducción de costos de producción en forma considerable.
- No depende de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas fuera de estación al combinarla con el uso de invernaderos.
- Se requiere menos espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- No se requiere de maquinaria agrícola (tractores, rastras, entre otros).
- Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha.
- Producción de semilla certificada.

- Ajuste adecuado en la presión osmótica (concentración total de sales) de la solución nutritiva por cultivo y por época del año.
- Uso de relaciones mutuas de cationes y aniones predeterminadas.
- Ajustes predeterminados de pH.
- Ajustes apropiados en las relaciones y la concentración de los micronutrientes.
- Uso de soluciones nutritivas para crecimiento vegetativo de los cultivos.
- Uso de soluciones nutritivas para crecimiento reproductivo de los cultivos.
- Uso de soluciones nutritivas con relaciones $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ predeterminadas.
- Ajustes en la frecuencia y horarios de la aplicación de riegos.
- Factibilidad de empleo de aguas salinas.
- Factibilidad de empleo de aguas más salinas con relación a las utilizadas en los cultivos tradicionales.
- Alta eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes.
- Se obtienen rendimientos altos y constantes.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Mayor precocidad de los cultivos.
- Posibilidad de automatización casi completa.
- No provoca los riesgos de erosión que se presentan en la tierra.
- Soluciona el problema de producción en zonas áridas o frías.
- Uniformidad en los cultivos.
- Permite ofrecer mejores precios en el mercado.
- Coadyuva a la solución del problema de la conservación de los recursos.
- Es una técnica adaptable a los conocimientos, espacios y recursos disponibles.
- Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o casi imposible.

Desventajas

- Altos costos iniciales en las instalaciones hidropónicas.
- Baja capacidad de amortiguamiento de las soluciones nutritivas.
- Impedimentos prácticos para cambiar la solución nutritiva de un día a otro (en días nublados el NH_4^+ en una solución nutritiva provoca resultados contraproducentes).
- Se requiere un suministro de energía eléctrica adecuado en la instalación hidropónica.
- Altos costos de la investigación y/o de la experimentación hidropónica.

2.14.3. Solución nutritiva

Numerosas soluciones nutritivas han sido formuladas para hacer crecer plantas en cultivo sin suelo, y su composición química varía ampliamente (Smith *et al.*, 1983). Estas soluciones en un inicio fueron desarrolladas por productores empíricamente, la mayor parte sin consultar,

previamente información precisa, con respecto a las concentraciones de nutrientes, las fuentes de N y su concentración total, para lograr el crecimiento óptimo de diversas especies vegetales.

Steiner (1968), señala que se han publicado más de 300 fórmulas manejadas como composiciones especiales para cierta clase de plantas, la mayoría de ellas provienen de experimentos en los cuales una cierta composición obtenida para un cultivo en particular se publicó como solución para ese cultivo, cuando en realidad simplemente se obtuvieron resultados aceptables. Muchas de esas composiciones no son verdaderas soluciones, sino suspensiones donde existen partículas o moléculas no disociadas, las concentraciones de nutrientes, requeridas para satisfacer las demandas internas de las plantas difieren de acuerdo con la especie. Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única con que se tendrían resultados satisfactorios para todas ellas. Sin embargo, algunas soluciones, tales como la Hoagland han sido ampliamente usadas y consideradas suficientemente útiles en las investigaciones realizadas, lo que ha limitado el desarrollo de las investigaciones al respecto.

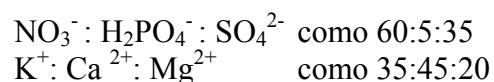
Los componentes principales del sistema hidropónico son la planta, el sustrato y la solución nutritiva (SN) (Resh, 2001). De esta última, influyen en el crecimiento, desarrollo, calidad de los cultivos y sus productos de importancia económica; además, la relación mutua entre cationes ($K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$), la relación mutua entre aniones ($NO_3^- + H_2PO_4^- + SO_4^{2-}$), la cantidad total de solutos y el pH (Steiner, 1961).

Los nutrimentos están disponibles para las plantas cuando se trata de soluciones nutritivas verdaderas; es decir, cuando éstas son homogéneas en todas sus partes y la fórmula química coincide con su análisis químico. Los iones con un riesgo mayor de precipitación son Ca^{2+} , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} . La precipitación de nutrimentos en la solución puede provocar deficiencias en la planta y afectar de manera negativa la absorción de los mismos por el desbalance en las relaciones mutuas entre los iones (Steiner, 1961).

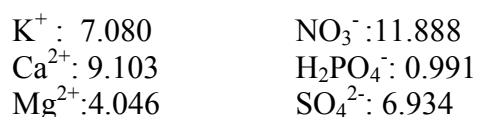
De Rijck y Schrevens (1999), destacan que en la nutrición hidropónica de las plantas, la SN generalmente consta de siete macronutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, $P-H_2PO_4^-$ y $S-SO_4^-$) y siete micronutrientes (Fe, Mn, Mo, Cu, Zn, B y Cl).

Mientras que para Steiner (1961, 1984), la composición química de una solución nutritiva está determinada por las proporciones relativas de aniones y cationes, la concentración iónica total y el pH. Para De Rijck y Schrevens (1997), una vez determinadas relaciones y concentraciones iónicas, el pH es a su vez fijado. Esto significa que el pH es una propiedad inherente de la composición mineral de la solución nutritiva, que no puede ser variado independientemente.

Steiner (1968), (citado por Baca, 1983) menciona que en los cultivos de tomate, pepino, lechuga, pimiento dulce, papa, maíz, clavel, crisantemo, gerberas, algunas orquídeas, cactáceas, anturios, sauce, manzano, olmo, frijol y avena, encontró que en todos los tipos de plantas, la región de respuesta a las diferentes soluciones nutritivas fue la misma y de naturaleza bastante limitada. De estas experiencias, el autor y sus colaboradores hicieron una composición estándar, la cual presenta la siguiente relación (en por ciento del total de $me\ L^{-1}$):



Para una concentración de $30\ me\ L^{-1}$ (presión osmótica = 0.7 atmósferas) y un pH de 6.5 ± 1 , implica adicionar a un litro de agua des-ionizada los siguientes $me\ L^{-1}$.



Steiner (1984), indica que es posible dar a las plantas la oportunidad de absorber los iones conforme lo requieran, y de acuerdo a su naturaleza típica dentro de áreas relativamente amplias de las relaciones mutuas, tanto de aniones como de cationes, áreas marcadas por límites fisiológicos que permiten a las plantas absorber los iones en su relación mutua específica; fuera de estos límites, las plantas no son capaces de absorberlos, provocándose un

desbalance nutricional. También, se presentan límites de precipitación en los cuales se forman precipitados de sulfato de calcio o sulfato de potasio; ambos límites son flexibles, dependiendo de la concentración absoluta de iones; en concentraciones totales de iones menores, los límites son más amplios que en concentraciones mayores.

Vergara (1992), al evaluar el efecto de soluciones con diferentes relaciones iónicas y concentración total sobre el rendimiento y calidad de tomate, observó que no hubo efecto de las relaciones iónicas sobre el peso seco del follaje, pero sí sobre la calidad del fruto comercial; en tanto que las concentraciones totales de la solución (20 y 30 mg L⁻¹) afectaron tanto al peso seco del follaje como la calidad del fruto, siendo mejor la concentración baja.

2.14.4. Presión osmótica

La respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo a la solución nutritiva del cultivo hidropónico depende de varios factores, el más importante de éstos es la concentración total de iones, expresada como presión osmótica de la solución nutritiva, que es una propiedad fisicoquímica de las soluciones que depende de la cantidad de partículas, o solutos disueltos (Segal, 1989, Steiner, 1966). Un aumento de la presión osmótica debido al incremento en el contenido de nutrientes o de otros iones en la solución nutritiva, provoca que la planta realice un esfuerzo mayor para absorber agua y algunos nutrientes (Asher y Edwards, 1983; Marschner, 1995) y por consiguiente un desgaste de energía metabólica.

Las características químicas de la solución nutritiva se reflejan en la respuesta de las plantas, siendo la presión osmótica la más importante de estas características. Según Steiner (1961, 1966, 1968, 1984), diferencias de presión osmótica de la solución nutritiva en el orden de 0,2 atm, provocan discrepancias considerables en el rendimiento de los cultivos.

2.14.5. pH de la solución nutritiva

Steiner (1968), menciona que en una verdadera solución nutritiva se tienen todos los iones en forma libre y activa, donde el pH es importante para determinar la disponibilidad de algunos

iones; así por ejemplo, en un pH alto no es posible tener un contenido alto de iones Ca y PO_4^{3-} debido a la posible coprecipitación de ambos en forma de compuestos poco solubles del tipo del CaHPO_4 .

El pH es importante para favorecer la presencia química H_2PO_4^- , que es la forma del fósforo más fácilmente absorbida por las plantas (Marschner, 1995). A pH 5.0, 100% del P está en esta forma y al aumentar el pH, dicha forma pasa a HPO_4^{2-} ($\text{pK}_{a2}=7.3$), alcanzando el 100% a pH 10. El intervalo de pH en el que predomina el ion H_2PO_4^- sobre el HPO_4^{2-} es entre 5 y 6. Precisamente entre estos límites se tiene la mejor difusión de H_2PO_4^- en el espacio libre aparente radical y aumenta su absorción por parte de las plantas desarrolladas en hidroponía (De Rijck y Schrevens, 1997).

En las soluciones nutritivas se pueden presentar problemas por precipitación de P cuando el pH es mayor de 7.5. Cuando el producto de sus contenidos de Ca^{2+} y HPO_4^{2-} (en $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$) presentes en la solución nutritiva es >2.2 ocurre precipitación de CaHPO_4 (Steiner, 1984). Steiner (1968), generalmente usa valores de pH de 6.0-6.5 y considera que en este intervalo el equilibrio de disociación de los fosfatos y de los carbonatos da la mayor capacidad amortiguadora con respecto al pH. Se puede concluir que el pH apropiado de una solución para el desarrollo de un cultivo en hidroponía varía entre 5 y 6. Sin embargo, el pH de una solución nutritiva no es estático, sino que varía en función de la diferencia en la magnitud de absorción de nutrientes por las plantas, en términos del balance de aniones respecto a los cationes. Cuando los aniones son absorbidos en mayor magnitud, por ejemplo: cuando la fuente de N^2 en la solución nutritiva es únicamente NO_3^- , la planta excreta aniones OH^- o HCO_3^- para contrarrestar las cargas eléctricas en su interior (Marschner, 1995), lo que genera un pH alcalino. A este proceso se le llama alcalinidad fisiológica. La solución de Steiner es de este tipo. Dicho de otra manera, en la medida que la planta absorbe una proporción mayor de aniones que de cationes, se incrementa el pH de la solución.

2.15. Producción de plántulas de tomate

Bowen y Kratky (1981), expresaron que en muchos países había ganado popularidad el empleo del trasplante con motas prensadas o cepellones, capaces de crear condiciones favorables a las plantas durante su establecimiento y de impedir los efectos del estrés, con lo cual se reducen las pérdidas de población y se garantiza la densidad deseada, siendo ésta la principal ventaja que posee dicho sistema, a la vez que permite ahorros de agua y semillas, con un mejor y más fácil control de malezas.

2.15.1. Tecnología de cepellones

En el mundo se ha ido imponiendo el trasplante de plántulas con cepellón producidas en distintos tipos de contenedores, o bandejas. Esta técnica permite incrementar la densidad de plántulas, ya que mejora la relación semillas utilizadas: plántulas obtenidas, consiguiendo ahorros de tiempo y espacio en el semillero. De esta manera, la producción de plántulas hortícolas se ha convertido en una empresa a gran escala, altamente calificada y de crecimiento económico importante (Fernández, 1997; Rodríguez, 1995). Sin embargo, Normann (1993), señala al respecto que, como contrapartida, estas plántulas requieren cuidados culturales más intensos ya que las condiciones de crecimiento de las raíces son alteradas en relación con el suelo debido a que:

- El pequeño volumen del recipiente limita la expansión de las raíces, ocasionando elevadas densidades de las mismas y, como consecuencia, se hace necesario un mayor suministro de oxígeno.
- Las paredes del recipiente no permiten el contacto de la planta con fuentes naturales de agua, causando su dependencia del riego.
- La alta frecuencia del riego puede provocar el lavado de los nutrientes disponibles.
- Cuanto menor es la altura del recipiente mayor es la dificultad para el drenaje.
- Estos problemas pueden ser controlados con una correcta selección de los materiales a ser utilizados como medio de cultivo o sustrato hortícola.

CAPÍTULO III. MARCO DE REFERENCIA

El suelo es un medio en el que tienen lugar muchas funciones de importancia para la vida de las plantas. Con frecuencia, es el lugar en el que se dan condiciones limitantes que, en diferentes grados, impiden buenos resultados agronómicos. Por este motivo en horticultura es frecuente remplazar el suelo natural con sustratos de origen diverso que, en alguna o en todas las fases de un cultivo, permiten superar condiciones limitantes y acercar al sistema radicular la planta completa; a una situación más cercana a la óptima para su nutrición mineral (Florián, 1997).

3.1. Propiedades de los sustratos

La planta de tomate puede ser sostenida y cultivada en diferentes tipos de materiales. De hecho, la planta sobrevive en cualquier medio de cultivo si las raíces pueden penetrar en el sustrato, pero la supervivencia no es un objetivo fundamental, por lo que se debe continuar investigando a fin de encontrar sustratos y condiciones de cultivos óptimas (Abad, 1995).

El sustrato o medio de crecimiento, es otro componente que tiene la función de proporcionar las condiciones para que las plantas se sostengan, absorban el agua y los nutrimentos, impidan el paso de la luz hacia el sistema radical y permitan el intercambio de gases con las raíces (Baca y Lara, 2001).

El término sustrato o substrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, 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 un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Abad y Noguera, 2000).

El sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y, por interacción con la fracción sólida los

nutrientes necesarios. Por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radicular (Lemaire, 2005). Esto hace que resulte necesario conocer las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los sustratos, pues condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor y determinan posteriormente su manejo.

El sustrato adecuado al cultivo, es aquel capaz de retener un volumen suficiente de agua y aire, nutrimentos en forma disponible para la planta; asimismo, debe ser bien drenado y permitir el rápido lavado del exceso de sales que se acumulan en el sustrato y que daña a las plantas (Avidan *et al.*, 2004).

Las funciones más importantes de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ideal para el crecimiento de las raíces y construir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas (Abad *et al.*, 1993).

La elección de un material particular, según Bunt (1988), Handreck y Black (1991) y Martínez y García (1993), está determinado usualmente por:

1. Su suministro y homogeneidad. Debe existir una abundante disponibilidad y alta homogeneidad, ya que un cambio en la calidad del sustrato puede llegar a alterar el sistema completo, lo que puede ocasionar pérdidas graves en la producción.
2. Su costo. El costo de los materiales es importante. Sin embargo, el costo del material no debe invalidar otros aspectos o factores, ya que el material elegido debe permitir alcanzar el objetivo propuesto con el mínimo de riesgo e inconvenientes.
3. Sus propiedades. Las analogías y diferencias entre distintos materiales utilizados como sustratos, pueden ser comprendidas más fácilmente, si las características de los materiales se consideran agrupadas en propiedades físicas, químicas y biológicas.

4. La experiencia local en su utilización. Existen diferencias marcadas entre zonas en aspectos tales como: estructura de los invernaderos, condiciones climáticas, calidad de las aguas de riego, variedades y ciclos de cultivo, entre otros. Esto nos obliga a adecuar los paquetes tecnológicos a las condiciones particulares.

3.1.1. Valores óptimos recomendados por algunos autores para sustratos

A nivel mundial se ha generado una serie de valores óptimos de algunas de las características de los sustratos; sin embargo, Abad *et al.*, (1993) son los que han dado un mayor número de parámetros óptimos. En el cuadro 3.1, se presentan los valores óptimos para sustratos de cultivo recomendados por algunos autores. Es importante resaltar, sobre todo, para las características químicas (debido a las diferentes proporciones de sustrato: agua empleada y usando el método de saturación), que al momento de comparar o interpretar los resultados con los niveles obtenidos, se debe definir el método por el que fue analizado, de no ser así los niveles no pueden ser comparados.

Cuadro 3.1 Niveles óptimos para las características físicas de sustratos de cultivo.

| Parámetro | De Boodt y Verdonck (1972) | Bunt (1988) | Handreck Black (1991) | Abad <i>et al.</i> (1993) |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Tamaño en partícula | | | | 0.25-2.5 |
| Densidad aparente, g/cm | | | | <0.4 |
| Densidad real | | | | 1.45-2.65 |
| Espacio poroso total | 85 | 75 - 85 | 60-80 | >85 |
| Capacidad de aeración | 20-30 | 10-20 | 07-50 | 10-30 |
| Agua fácilmente disponible | 20-30 | | >20 | 20-30 |
| Agua de reserva | 04-10 | | | 04-10 |
| Agua total disponible | | >30 | | 24-40 |
| Capacidad de retención de agua | | | | 550-770 |
| p H | | | | 5.2-6.3 |
| C E (dS m ⁻¹) | | | | 0.75-3.49 |

3.1.2. Clasificación de los sustratos

Atendiendo a los diferentes tipos de materiales utilizados como sustratos, éstos se pueden clasificar según su origen y proceso de manufacturación de la siguiente forma: Orgánicos químicamente activos: turbas, cortezas de pino, vermiculita, materiales lignocelulósicos, entre otros e Inorgánicos químicamente inertes: arena granítica o silícica, grava, perlita, lana de roca, entre otros.

La diferencia entre ambos tipos de materiales viene determinada por la capacidad de intercambio catiónico, una propiedad físico-química directamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato. En el primer caso, el material actúa única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes. En el segundo caso el sustrato además de soporte, actúa como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal (Abad y Noguera, 2000).

Durante estos últimos años, se ha tenido un espectacular desarrollo en las técnicas de cultivos de plantas en maceta y en contenedor.

Cuadro 3.2 Origen y productos aprovechables en sustratos.

| Origen | Productos |
|------------------------|---|
| Industria de la madera | corteza, aserrín, viruta |
| Residuos urbanos | hojarasca, lodos de depuradora, residuos de jardinería |
| Industria textil | residuos de lino, lana y algodón |
| Bioindustria | gallinaza, estiércol de porcino y ovino, paja |
| Industria alimentaria | desechos de soja, desperdicios de negro de humo, residuos de frutas |
| Industria del tabaco | polvos y restos de hoja de tabaco |
| Recursos naturales | lignito, tierra |
| Industria del papel | corteza, lodos de depuración |
| Industria siderúrgica | escorias de fundición |

Fuente Ansorena, 1994.

El medio de cultivo ha ido evolucionando desde los primeros sustratos basados en suelo mineral, hasta las actuales mezclas. Paralelamente a la evolución de las técnicas y medios de cultivo, se ha experimentado una importante ampliación del campo de aplicaciones de los

sustratos. El consiguiente aumento de la demanda se ha producido en un clima de creciente sensibilidad hacia el agotamiento de los recursos naturales no renovables y las consecuencias del deterioro medioambiental. Todo ello, ha favorecido el aprovechamiento de materiales muy diversos, que hasta fechas muy recientes eran considerados como residuos no deseables o subproductos (Cuadro 3.2) de escaso valor como aserrín, corteza de árbol, paja de cereales, entre otros. (Ansorena, 1994).

3.2. Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas las más importantes, ya que si éstas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar una vez que se ha establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999). La caracterización física permite conocer la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como sus variaciones en función del potencial mátrico, dentro de las propiedades se encuentran las que se describen a continuación:

3.2.1. Granulometría

El tamaño de las partículas del sustrato así como las dimensiones de los poros que éstas determinan, son dos características que van a condicionar el desarrollo de las plantas, puesto que la aireación radical y la retención de agua van a estar en función de aquellas (Abad, 1995).

El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 micras, equivalentes a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, capaz de retener suficiente agua, fácilmente disponible y de poseer además, un adecuado contenido de aire (Puustjärvi, 1983).

3.2.2. Espacio poroso total

El espacio poroso total, se refiere al volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales (Abad y Noguera, 2000), estos espacios se clasifican en

porosidad externa e interna, respectivamente. Los espacios porosos que se forman entre las partículas originan la porosidad externa. Esta se genera por la forma de empaquetamiento y grado de compactación a la que se someten los materiales; además, está fluida por el tamaño del recipiente y la forma, tamaño, naturaleza y características de las partículas constituyentes de la fracción sólida (Bastida, 2002).

El nivel óptimo, se sitúa por encima de 85% del volumen de sustrato. El total de poros existentes en un sustrato se reparte entre poros capilares de pequeño tamaño, que son los que retienen el agua, y poros no capilares o macroscópicos de mayor tamaño, que son los que se vacían después de que el sustrato sea drenado, permitiendo así la aireación (Abad, 1997).

El espacio poroso, se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente, (Abad *et al.*, 1993).

Lemaire (1995), menciona que la porosidad no mantiene un valor constante durante el proceso de cultivo y se puede deber a la compactación del sustrato, a la evolución biológica de los materiales orgánicos o a la separación de las partículas finas arrastradas por el agua de riego a la base del contenedor.

3.2.3. Densidad aparente

Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas. La densidad aparente juega un papel importante, ya que los sustratos y los contenedores se transportan durante su manejo y manipulación, consecuentemente, su masa debe ser tomada en cuenta (Abad y Noguera, 2000).

La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas, debido a la influencia que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a

disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 Kg/m^3 limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1630 Kg/m^3 , para la misma especie (Jones, 1983).

Una vez que esté el sustrato en el contenedor y la planta se encuentre creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato, esto contrasta con el estatus químico que puede ser modificado mediante técnicas de cultivo apropiadas (Abad y Noguera, 2000).

3.2.4. Agua fácilmente disponible

El agua fácilmente disponible es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato, tras su saturación con el riego y posterior drenaje a una tensión mátrica de 10 cm y, la cantidad de agua que se encuentra en dicho medio a una tensión de 50 cm el valor óptimo oscila entre el 20 y el 30% del volumen (Abad *et al.*, 1993).

3.2.5. Capacidad de aireación

La capacidad de aireación, es el porcentaje de volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua, y dejado drenar usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20 y el 30% en volumen (Abad *et al.*, 1993).

3.3. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materias entre el sustrato y la solución del sustrato. Estas transferencias son reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (químicas), reacciones de intercambio de iones

(físico-químicas) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímicas) (Abad, 1995).

3.3.1. Potencial de hidrogeno (pH)

La reacción del sustrato es importante porque ejerce sus efectos sobre la disponibilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. El nivel óptimo del pH del sustrato para el cultivo del tomate es de 5.5 a 7.5 (Ballester-Olmos, 1992; Escudero, 1993).

3.3.2. Disponibilidad de nutrientes

Los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en sus contenidos de nutrientes asimilables; así, algunos (turba rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost), presentan niveles elevados, dependiendo de dicho nivel y origen del material.

Los niveles de nutrientes más adecuados para el cultivo de tomate con sustratos de tipo turboso según Johnson (1980) son:

| | | |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------|
| N-NH ₄ ⁺ | 151 - 200 | mg . L ⁻¹ de sustrato |
| N-NO ₃ ⁻ | 81 - 200 | mg . L ⁻¹ de sustrato |
| P | 56 - 100 | mg . L ⁻¹ de sustrato |
| K | 251 - 400 | mg . L ⁻¹ de sustrato |
| Mg | 26 - 35 | mg . L ⁻¹ de sustrato |

3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la suma de los cationes cambiabiles que están adsorbidos por mol de sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto de lavado del agua y están usualmente disponibles para la planta. Se considera conveniente un valor superior a 20 cmol./Kg⁻¹ (Abad *et al.*, 1993; Cánovas, 1993).

3.3.4. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La relación C/N se emplea tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez, de su estabilidad y de su capacidad para suministrar nitrógeno a las plantas. Una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato, es un indicador de un material orgánico maduro y estable (Abad *et al.*, 1993; Ballester-Olmos, 1992; Paneque y Bertolí, 1998).

3.3.5. Salinidad conductividad eléctrica (C.E) y presión osmótica (P.O.)

La salinidad es la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato y que no están adsorbidas por el complejo de intercambio del mismo. El valor de la C.E. constituye un buen indicador de la salinidad de un sustrato, y depende de la concentración de iones en la disolución, además de la temperatura, no influyendo en ella la urea ni otros compuestos orgánicos que no se ionizan (Abad, 1995).

La presión osmótica (P.O.) es muy importante para la absorción de agua por las plantas, y depende de la cantidad de sólidos disueltos en la solución del medio, estando influenciada por la urea y otros compuestos orgánicos, que no alteran la C.E., debiendo mantenerse entre 0.5 y 2.0 atmósferas al 50% de humedad (Abad, 1995).

3.3.6. Propiedades biológicas

Todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables, son susceptibles a la degradación biológica continua, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos.

La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en

los medios de cultivo, considerada de modo global, es desfavorable desde el punto de vista hortícola (Raviv *et al.*, 1986).

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales, tanto a nivel de células como de órganos, son afectadas positivamente por estos ácidos (Viser, 1986; Chen y Stevenson, 1986).

También es conocida la existencia de actividad auxínica (que controla el crecimiento celular y la iniciación de raíces) en los extractos de muchos materiales orgánicos, utilizados en los medios de cultivo de las plantas. Ya que dicha actividad hormonal no ha podido ser relacionada con las sustancias húmicas, se ha atribuido a un efecto sinérgico entre las auxinas y los compuestos fenólicos que están presentes en dichos materiales como consecuencia de la degradación de los compuestos orgánicos, especialmente lignina (Chen y Stevenson, 1986; Raviv *et al.*, 1986).

3.4. Materiales utilizados como sustratos

3.4.1. Zeolitas

Es un material compuesto por aluminio y silicio (aluminosilicatos hidratados porosos). Entre las propiedades físicas más notables de los minerales zeolíticos se encuentran su baja densidad (muy livianos), su elevado poder de absorción y la gran facilidad para la deshidratación; su volumen está constituido hasta en un 50% de espacio poroso, sin cambiar su estructura, por lo que pueden rellenarse de líquidos o gases en ciclos repetidos. También son resistentes a la pulverización, teniendo baja resistencia a la abrasión y no se aterronan (Escrura y Pérez, 1989). Es un sustrato utilizado frecuentemente en producción de plántulas. Urbina (2006), realizó un estudio que consistió en determinar las propiedades físicas y de intercambio de cationes de zeolita clinoptilolita, para posteriormente evaluarla como sustrato hidropónico cargada con K^+ , Ca^{2+} o Mg^{2+} , en cada caso, en tres granulometrías (0.71-1.00, 1.01-2.00 y

2.01-3.36 mm), mediante el rendimiento y la absorción nutrimental de plántulas de tomate cv. Mitsuri y tezontle (lava volcánica porosa) como testigo. Los resultados mostraron que el K^+ fue el catión más eficiente para desplazar al Na^+ en la zeolita natural. Con las granulometrías fina y media se obtuvo las plántulas de mayor tamaño. Las zeolitas cargadas con K^+ o Mg^{2+} produjeron plántulas de mayor tamaño que las obtenidas en la zeolita cargada con Ca^{2+} . Las plántulas establecidas en el tezontle de granulometría gruesa tuvieron menor tamaño que las establecidas en las zeolitas.

3.4.2. Tezontle

Es un material de origen volcánico de color rojizo o negro que se emplea como cubierta en los caminos rurales, pero que puede ser usado en los sistemas hidropónicos debido a sus características favorables como buena aeración, químicamente inerte, estéril, aislante, durable y económicamente accesible, presenta desventajas como la baja retención de agua y relativamente es pesado (Zuang *et al.*, 1986).

Quiñones (2000), evaluó el tezontle como sustrato base para la producción de Tomate a) tezontle + lombricomposta + carbón (47.5% + 47.5% + 5%), b) tezontle + lombricomposta + carbón (57.5% + 37.5% + 5%), c) tezontle + lombricomposta + carbón (67.5% + 27.5% + 5%), d) Tezontle (100%), y e) suelo + lombricomposta (95%+5%). concluyó que no existen diferencias significativas entre los cinco tratamientos. Sin embargo, los costos de operación obtenidos bajo el presente ensayo fueron menores en el suelo + lombricomposta.

3.4.3. Estiércol

Los estiércoles son las deyecciones sólidas y líquidas de los animales, que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después en el estercolero. Su composición varía entre límites muy amplios, dependiendo de la raza, edad y alimentación del ganado (Labrador *et al.*, 1993). Moreno (2005), al evaluar estiércol de caballo, estiércol de cabra y arena en distintas proporciones con dos genotipos de tomate André y Adela estableció que tres de las variables evaluadas en el tomate presentaron diferencia significativa; sólidos

solubles ($^{\circ}$ Brix), número de racimos ($P \leq 0,01$) y número de frutos ($P \leq 0,05$), en los tratamientos con las mezclas de vermicompost/arena 25:75 y 50:50 (%), mientras que las variables diámetro de fruto, altura de planta y rendimiento no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

3.4.4. Cachaza

La cachaza es un residuo sólido de la industria azucarera, que se obtiene como resultado del proceso de clarificación de los jugos de caña, por medio de la alcalinización con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y la aplicación de calor, lográndose coagular y precipitar los sólidos del jugo y después separarlos por decantación y filtrado (Paneque y Bertolí, 1998). Fernández *et al.*, (2007) evaluó el efecto de sustratos sobre la germinación de semillas de tomate cv Río Grande utilizando seis sustratos, la mezcla comercial de turba canadiense (Sungro Horticulture Inc. NJ, EUA) como tratamiento testigo, tres mezclas de compost de cachaza y bagazo de caña de azúcar (Biofertilizante La Pastora, C.A., Trujillo, Venezuela) con aserrín de coco molido en las siguientes relaciones v/v: 2:1 (MCA21), 1:1 (MCA11) y 1:2 (MCA12). Además, se utilizó un sustrato preparado con capa vegetal y materia orgánica en relación 3:1 (CVG). Los resultados a los ocho días después de la siembra (DDS) fue: 97.83% en turba (TUR), 94.75; 87.08 y 93.92% en mezclas de compost y aserrín de coco en proporción 2:1 (MCA21), 1:1 (MCA11), y 1:2 (MCA12) v/v, respectivamente, 95.42% en capa vegetal (CVG) y 57.16%. Concluyeron que el mejor sustrato para sustituir a la turba fue la mezcla de compost de cachaza de caña de azúcar y aserrín de coco molida en relación 2:1.

3.4.5. Turba

La turba es el conjunto de materias orgánicas producidas por la descomposición lenta de vegetales en zonas con exceso de humedad y deficiente oxigenación. Como consecuencia de estas condiciones, las materias orgánicas sólo se han descompuesto parcialmente; de ahí su aspecto fibroso característico y específico de cada tipo de turbera y sus propiedades, fundamentalmente su capacidad de retención de humedad (Ballester-Olmos, 1992). Por su alto costo, la turba es usada principalmente en producciones de plántulas, por sus características

físicoquímicas es un sustrato adecuado para este proceso. (Requejo *et al.*, 2002), evaluaron el potencial productivo del tomate Cv Floradade establecido en sacos de sustrato hidropónico. Los tratamientos se establecieron en quince contenedores (cinco por tratamiento) hechos de polietileno negro interior, y blanco al exterior calibre 3 mil, de un metro de largo y capacidad de treinta litros. Se probó perlita más turba, perlita más turba más tela de algodón absorbente y perlita más tela de algodón absorbente, encontraron que la altura de plantas fue mayor y más homogénea en cultivo sin suelo, así como el rendimiento y tamaño de frutos, esto en perlita más turba. Concluyeron que el cultivo de tomate en suelo presentó desventajas contra el producido en sustratos hidropónicos.

3.4.6. Gallinaza

La gallinaza es la mezcla de excremento de las gallináceas con los materiales que se usan para cama de los gallineros, y que se obtiene en los lugares donde se crían intensivamente las aves (Paneque y Bertolí, 1998; Pastor, 1977). Agudelo (2004), evaluó el efecto de hongos micorrizógenos, y de gallinaza, comparando la aplicación de fertilizante mineral, sobre la producción y la calidad de cebolla cabezona (*Allium cepa* L. 'Yellow Granex'). Los resultados mostraron que las micorrizas y la gallinaza incrementaron la producción total, y de las cebollas de primera calidad, comparando con la aplicación de fertilizante mineral, solo o complementado con 1 ó 2 ton/ha de gallinaza. Tuzel *et al.*, (2003), encontraron rendimientos de tomate orgánico en invernadero de 90 t ha⁻¹ cuando se fertiliza con gallinaza.

3.4.7. Aserrín

A nivel mundial, en el caso de cultivos sin suelo se han buscado sustitutos a la turba, entre los que aparece como una alternativa el aserrín (Howard y Rosh, 1993; Pinamonti *et al.*, 1997).

En Canadá y Sur África se utiliza el aserrín, en el Este de Europa y otros lugares se utiliza la corteza de árboles maderables, donde la turba escasea y los costos de producción son cada vez más altos; también se utilizan otros materiales como la fibra de coco, la cáscara de arroz, etc.,

que usualmente se mezclan con una proporción de materiales inertes tales como la arena, permitiendo obtener un sustrato óptimo para el cultivo de plantas. (FAO, 1990).

Se ha demostrado que el tomate prospera bien en un medio hidropónico compuesto completamente por aserrín, siempre y cuando se proporcione las cantidades de nutrientes necesarios para su desarrollo (Mass, Adamson, 1969).

El aserrín comenzó a utilizarse como medio de cultivo en explotaciones comerciales en la región costera de Columbia Británica, debido a su bajo costo, ligereza y disponibilidad. Un aserrín moderadamente fino, mezclado con buenas proporciones de virutas planas, suele ser más adecuado ya que la humedad se distribuye mejor (Resh, 1981).

James (1985), sugirió mezclar 65% de aserrín fino con 35% de aserrín grueso, o bien 35% y 65% respectivamente. Por otra parte también recomienda compostear el aserrín debido a que pueden presentarse deficiencias de nitrógeno en las plantas, ya que los microorganismos presentes en el aserrín de pino no tienen sustancias nutritivas para su actividad microbiana, para descomponer el aserrín. Además, encontró que el aserrín tiene sustancias tóxicas para las plantas; por último recomienda realizar mezclas con otros sustratos para próximas investigaciones.

Adamson y Mass (1969), mencionan que los mejores resultados, en cuanto a producción de tomate, se han logrado sustituyendo el suelo agrícola por mezcla de arena fina y aserrín en la proporción 3:1.

Otros tipos de aserrín empleados en hidroponía han sido los de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) y de Tsuga (*Tsuga canadensis*), se encontró que el aserrín de tuja roja (*Thuja plicata* D.) es tóxico (Mass y Adamson, citados por Jaimes, 1985). Por otro lado, incorporando un inhibidor de la desnitrificación (50 ppm de nitrapyrin) al aserrín y corteza, se incrementa el peso de la planta, la razón el nitrato/amonio, asociado al incremento en el nitrógeno aprovechable en el medio (Mills y Pokorny, 1978).

3.4.8. Arena

La arena es un material natural inerte, que se emplea en la confección de mezclas para sustratos artificiales. El tipo de arena adecuada para estas mezclas es la silícica, de tamaño muy fino, pudiendo utilizarse las de ríos, de yacimientos y de playas; en este último caso es necesario lavarlas antes de ser empleadas (Serrano, 1990).

3.4.9 Humus de lombriz

El humus de lombriz, es el resultado de la transformación de sustancias orgánicas del suelo por algunas lombrices de tierra al pasar este material por su intestino, mezclándose con elementos minerales, microorganismos y fermentos que inducen la transformación bioquímica de dicho material. El producto de estas deyecciones queda así enriquecido y "predigerido," con lo que se acelera la mineralización de las sustancias orgánicas que lo componen (Labrador *et al.*, 1993).

Rodríguez *et al.*, (2008), evaluaron dos híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) 'Big Beef' y 'Miramar' en tres sustratos: S1, vermicomposta + arena, en proporción 1:1 (v:v) + micronutrientes quelatizados; S2, vermicomposta + arena, sin micronutrientes; y el testigo S3, arena + solución nutritiva inorgánica; detectaron diferencias entre sustratos en rendimiento y calidad; el híbrido 'Big Beef' en el S3 presentó el rendimiento comercial más alto con 279 t/ha^{-1} , y superó al S1 con el mismo genotipo. En rendimiento de fruto total ambos híbridos crecidos en el S3 superaron al S1. Sin embargo, el rendimiento en S1 fue mayor de 200 t/ha^{-1} en ambos genotipos. Además, en S1 se logró mayor contenido de sólidos solubles y espesor del pericarpio en el fruto que en S3 y S2, concluyendo que vermicomposta + arena + quelatos puede ser una opción viable para producir tomate orgánico en invernadero.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se precisa el procedimiento metodológico que siguió la investigación, en la que se hizo uso de técnicas cuantitativas, que permitirán obtener la recolección de datos a través de bases estadísticas considerando el procedimiento para cada actividad.

4.1. Contexto de investigación

La investigación se condujo en la ciudad de Chignahuapan, Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 39' 42" y 19° 58' 48" de latitud norte y los meridianos 97° 57' 18" y 98° 18' 06" de longitud occidental. Sus colindancias son al Norte con Zacatlán, al Sur con el Estado de Tlaxcala, al Oeste con Zacatlán y Aquixtla y al Poniente con el Estado de Hidalgo. Tiene una superficie de 591.92 kilómetros cuadrados. El municipio se localiza dentro de la zona de los climas templados de la sierra norte, se identifican dos climas: semifrío subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 5 y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm, la precipitación invernal con respecto a la anual es entre 5 y 10.2 por ciento (CNA, 2003).

De acuerdo con los datos obtenidos a partir del conteo de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el municipio cuenta con una población de 51,516 habitantes. La densidad de población es de 87.03 habitantes por kilómetro cuadrado.

La cabecera municipal cuenta con una población de 16,867 habitantes. La actividad económica de Chignahuapan está basada principalmente en las actividades agropecuarias, destaca principalmente el cultivo del maíz, haba, avena y trigo. La crianza de ganado bovino, porcino y caprino. La avicultura, la pesca de carpas y cangrejos la crianza de truchas, así como la apicultura. Por otro lado, la silvicultura es la actividad primaria más destacada del municipio, siendo este último uno de los más importantes productores de madera del estado. El resto de la población está localizada en otras localidades y en comunidades rurales (INEGI, 2005).

Chignahuapan cuenta con bosques de coníferas, principalmente de pinos, asociaciones boscosas de pino-encino y oyamel, asociados en ocasiones a vegetación secundaria arbustiva; cuenta con especies tales como ocote, trompillo, pino de patula, pino de lacio, aile, madroño, encino, tesmilillo, jarilla, pino chino, laurelillo, encino y oyamel. Se encuentran dispersos por todo el territorio aunque destacan por su extensión los localizados, en el conjunto montañosos del cerro las Tablas y en la sierra que cruza el oriente.

Cuenta con una gran variedad de especies forestales, mismas que son explotadas y que convierten el municipio en uno de los principales productores de madera a nivel estatal. Respecto a la minería: entre sus principales yacimientos encontramos: ocre, tepetlxlil- (tezontle rojo) y arcilla.

El municipio presenta gran diversidad edafológica; se identifican suelos pertenecientes a ocho grupos: regosol, andosol, planosol, feozem, lucilos, cambisol, vertisol, y litosol (CNDM, 1999).

4.2. Materiales e insumos

4.2.1. Invernadero

Los experimentos se establecieron en un invernadero de tipo túnel “rústico” (traspatio) es de nivel tecnológico bajo según la clasificación de Pieter de Rijkb, (2008), superficie de 60 m² cubierto lateralmente con malla antiafidos, piso de grava, 100% dependiente del ambiente exterior, de tecnología simple similar a utilizadas en cultivo a intemperie

4.2.2. Sistema de riego

El sistema de riego instalado en el invernadero fue goteo por gravedad, para controlarlo se contó con un depósito (tinaco) cuya capacidad es de 750 litros para suministrar la solución nutritiva y según la etapa fenológica, condiciones de temperatura y humedad del interior del invernadero vario de 0.3 a 2.5 L bolsa.

4.2.3. Contenedores

Los contenedores utilizados fueron bolsas de plástico negro de 4 L de capacidad, desinfectados con hipoclorito al 2% durante 2 hrs, los cuales se llenaron con los sustratos (tratamientos) hasta 5 cm debajo de su límite superior. La granulometría de estos fue de 2 a 8 mm.

4.2.4. Solución nutritiva

La composición química de la solución nutritiva utilizada durante el desarrollo del experimento se presenta en el Cuadro 4.1. La formulación química de esta solución utilizada, se originó a partir de la solución descrita por Steiner (1961), la cual consiste en restar los aniones y cationes detectados con base al análisis de agua previamente realizado (Anexo 3). Se ajustó el pH del agua a 5.5 mediante la adición de ácido sulfúrico al 98% (66 mL/1 100 L agua), actividad que es indispensable para evitar precipitados y eliminar la mayor parte de bicarbonatos presentes. Al finalizar la preparación de solución nutritiva se midió la conductividad eléctrica (C. E.).

Cuadro 4.1 Cantidad de fertilizante por litro de agua para preparar la solución nutritiva.

| Fertilizante o sal | Peso molecular | Peso equivalente | Solución Steiner (me/L) | Solución Steiner (g/L) |
|---|----------------|------------------|-------------------------|------------------------|
| Tanque 1 nitratos | | | | |
| Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O (15% N, 19% Ca) | 236 | 118 | 9 | 1.062 |
| KNO ₃ | 101 | 101 | 3 | 0.303 |
| Tanque 2 sulfatos | | | | |
| K ₂ SO ₄ (52%K ₂ O) | 174 | 87 | 4 | 0.348 |
| MgSO ₄ ·7H ₂ O (9.8%%Mg) | 246.3 | 123.1 | 4 | 0.493 |
| H ₃ PO ₄ 85% | | | | |
| Densidad 1.7 g/mL | 98 | 32.7 | 1 | 0.23μL |

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Los microelementos incluyendo al Fe se adicionaron mediante el producto welgro micromix®

Cuadro 4.2 Concentración de micronutrientes para soluciones nutritivas.

| Sal o reactivo | ppm | g / 1 000 L ** |
|---|------------|-----------------------|
| H ₃ BO ₃ | 0.5 | 2.9 |
| Mn SO ₄ H ₂ O | 0.7 | 2.2 |
| Zn SO ₄ 7 H ₂ O | 0.09 | 0.4 |
| Cu SO ₄ 5 H ₂ O | 0.02 | 0.08 |
| Na Mo O ₄ . 2 H ₂ O | 0.04 | 0.1 |

** Estas cantidades se agregan directamente a la solución nutritiva final. Fuente: Elaboración propia con información de campo.

4.3. Sustratos

Se utilizaron cuatro sustratos base: aserrín compostado de pino (*Abies religiosa*), composta de ovino, suelo local (tierra agrícola), tezontle rojo y la mezcla entre estos a un volumen proporcional 1:1 las mezclas se realizaron de forma manual, obteniéndose mayor homogeneidad y fueron tamizados con una malla de 3 mm, en todos los casos se le aplicó Interguzan 30-30® 1g/kg de sustrato. Los sustratos utilizados son materiales comunes, de fácil adquisición y transportación en el territorio donde se desarrollo la investigación.

4.3.1. Determinación de las propiedades físicas de los sustratos

La densidad real (DR) que consiste en el peso por unidad de volumen sin contener el espacio poroso; así como la densidad aparente (DA) peso seco de una unidad de volumen se determino mediante la metodología propuesta por De Boodt *et al.*, (1974) para lo cual se utilizaron 500 g de sustrato en un volumen conocido. El espacio poroso total mediante la fórmula $EPT (\%) = (1 - Da/Dr) \times 100$. Así mismo, la capacidad de absorción de agua por el método propuesto por Martínez, (1992).

4.3.2. Determinación de pH conductividad eléctrica C.E. (dS m-1) y partes por millón

Propiedades medidas en extracto saturado, descrito por Warncke (1986) con un potenciómetro HI 98312 DiST®. Hanna Instrumenst.

Cuadro 4.3 Características físicas y químicas de los sustratos empleados.

| Sustrato | V (cc.) de 500 g. | D A g/cm ³ | D R g/cm ³ | E P T % | A R % | pH | C E (dS m ⁻¹) | PPM |
|----------|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------|----------|-----|------------------------------|-----|
| Aserrín | 1500 | 0.3 | 0.7 | 57.1 | 60 | 6.8 | 0.8 | 420 |
| Composta | 1700 | 0.3 | 0.6 | 50.0 | 80 | 7.5 | 1.8 | 930 |
| Tierra | 800 | 0.6 | 1.6 | 28.6 | 85 | 7.5 | 0.9 | 470 |
| Tezontle | 450 | 1.1 | 1.9 | 45.0 | 63 | 7.2 | 1.2 | 602 |
| Ase-Com | 1200 | 0.4 | 0.6 | 53.3 | 90 | 7.4 | 1 | 521 |
| Ase-Tie | 1100 | 0.4 | 0.9 | 55.6 | 80 | 7.5 | 1.4 | 710 |
| Ase-Tez | 900 | 0.5 | 0.8 | 37.5 | 66 | 7 | 1.1 | 580 |
| Com-Tie | 1200 | 0.4 | 0.9 | 55.6 | 82 | 7.6 | 1.6 | 800 |
| Com-Tez | 1000 | 0.5 | 0.7 | 62.5 | 75 | 7.5 | 1.5 | 772 |
| Tie-Tez | 900 | 0.5 | 1.2 | 58.3 | 60 | 7.4 | 1.2 | 640 |

V volumen **DA** densidad aparente y **DR** densidad real Determinación mediante el método propuesto por De Boodt *et al.*, (1974). **EPT** espacio poroso total (%) $(1 - Da/Dr) \times 100$ **AR** agua retenida Determinación mediante el método propuesto por Martínez (1992). **CE** conductividad eléctrica y **PPM** Partes Por Millón Propiedades medidas en extracto saturado, descrito por Warncke, (1986). Medidos con un potenciómetro HI 98312 DiST® Hanna Instrumenst. Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Cuadro 4.4 Relación de la combinación de tratamientos por cada uno de los sustratos y su proporción volumétrica.

| Tratamiento | Sustrato | Proporción volumétrica |
|-------------|-------------------|------------------------|
| 1 | Aserrín | 1 |
| 2 | Composta | 1 |
| 3 | Tierra | 1 |
| 4 | Tezontle | 1 |
| 5 | Aserrín-Composta | 1:1 |
| 6 | Aserrín-Tierra | 1:1 |
| 7 | Aserrín-Tezontle | 1:1 |
| 8 | Composta-Tierra | 1:1 |
| 9 | Composta-Tezontle | 1:1 |
| 10 | Tierra-Tezontle | 1:1 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

4.3.5. Semilla

Finalmente el genotipo utilizado fue la semilla Seed sun 7705 tipo saladette que es una planta vigorosa, de hábito indeterminado de amplia adaptación con buen rendimiento de frutos

grandes y extra grandes (120–140 g), tolerante al “rajamiento”, buena resistencia contra enfermedades, como (Ma) *Meloidogyne incognita*, (Mi) *Meloidogyne arenaria*, (Mj) *Meloidogyne javanica*, (N) Nemátodos Va, Vd (V) *Verticillium* Fol 0,1 (F1, F2) *Fusarium* - razas como se describen (Bsp) Peca Bacteriana TMV (TMV) Virus del Mosaico del Tabaco

CAPÍTULO V. EXPERIMENTO I. EFECTO DE LOS SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL)

5.1. Introducción

La obtención de plántulas vigorosas de tomate permite reducir la pérdida de plantas después del trasplante, aunado a ello, se tiene la alternativa de utilizar sustratos disponibles en las regiones productoras de la especie. La producción de plántulas de tomate, se desarrolla al grado de convertirla en una especialidad. La razón se basa en que la obtención de plántulas sanas y vigorosas que provienen de un almácigo donde encuentran las condiciones fisicoquímicas y nutrientes necesarios para su desarrollo, garantiza la obtención de una producción significativa, por lo que la generación de tecnología para su elaboración es un requerimiento necesario (Guzmán, 2003). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de mezclas de aserrín de pino, composta, tierra agrícola y tezontle rojo en el cultivo de plántulas de tomate, en condiciones de invernadero.

5.2. Metodología

Se estableció el almácigo en el cual se utilizaron charolas de polietileno que fueron desinfectadas con hipoclorito al 2% durante 24 horas, cada charola posee 200 cavidades (alvéolos troncocónicos de 20 cm³) en el que se depositó el sustrato a una relación 1 y 1:1. La preparación de estos, así como el llenado de las charolas se realizó de forma manual colocándose las mismas sobre mesas de 80 cm de altura; la semilla se sumergió durante 12 horas en agua y se depositó 1 por cavidad de la charola, se uso un marcador para buscar uniformidad a una profundidad de 5 mm, estas fueron estibadas y cubiertas con polietileno negro dentro del invernadero para estimular la germinación.

Pasados tres días se retiró el polietileno (desestiba). Los riegos se realizaron cada 12 horas con agua durante la primera semana; después de la emergencia se le aplicó la solución nutritiva

(Steiner) al 25, 50 y 75% durante cada semana hasta estar listas para el trasplante, a una altura de 18 cm o cuando estuvieron formadas entre 4 y 5 hojas verdaderas. Se empleó un diseño de bloques al azar con diez tratamientos a evaluar (Cuadro 4.4) y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 10 o 5 plantas según la variable considerada.

Todas las variables estudiadas fueron sometidas a un análisis de varianza, y aquellas con diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), mediante el paquete estadístico **Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)** (2008), a través del procedimiento ANOVA.

5.3. Variables de respuesta

A partir de los 3 días después de la siembra, se cuantificaron las siguientes variables (en un promedio de 25 plantas de cada repetición por tratamiento):

5.3.1. Germinación de la semilla (%)

Se cuantificaron cada tres días, hasta 15 días después de la siembra (dds). Considerando todas aquellas que presentaron radícula o protrusión de la misma, expresados los datos en porcentaje.

5.3.2. Emergencia

Para esta prueba se realizaron conteos diarios de plántulas emergidas en el almácigo a partir del inicio de emergencia (2° día), cuyos cotiledones hubiesen estado atravesando la superficie; es decir, con hipocótilo visible (corresponden a los días que tardaron en emerger al menos el 50% de las semillas colocadas en las bandejas).

5.3.3. Dinámica de crecimiento (cm)

Para ello, se realizaron mediciones cada 3 días después de la siembra. Se empleó cinta metálica milimetrada (con error de lectura de 0,05 cm). Los puntos de referencias fueron la base del tallo y la yema apical.

5.3.4. Diámetro del tallo en plántula (mm)

Las mediciones del diámetro se realizaron cada 3 días después de la siembra, empleando un vernier, con error de lectura 0.05 cm.

5.3.5. Número de hojas de plántula

Se cuantificaron folios totalmente expandidos a los 25 días después de la siembra

5.3.6. Calidad de adobe

Se realizó de acuerdo a la siguiente escala visual de evaluación:

- 1: El 100% del adobe sale íntegro cuando se extrae la planta de la celda.
- 2: Sale el 90% del adobe.
- 3: Sale el 75% del adobe.
- 4: Sale el 50% del adobe.
- 5: Sale menos del 50% del adobe o la raíz desnuda

5.4. Resultados y discusión

Cuadro 5.1 Análisis de varianza de las variables del experimento 1

| Variabes | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------------------|-------------------|------------------|-------|-------|
| % de germinación | 5021.4 | 557.9 | 257.5 | 0 |
| Días a emergencia | 11.6 | 1.2 | 1.9 | 0.085 |
| Altura a los 25 días | 138.9 | 15.4 | 15.4 | 0 |
| Número de hojas | 48.4 | 5.3 | 3.3 | 0.006 |
| Diámetro de tallo | 11.0 | 1.2 | 1.6 | 0.14 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

5.4.1. Temperatura en el interior del invernadero

El comportamiento de las condiciones climáticas dentro del invernadero durante la etapa experimental (mayo-octubre) fue el siguiente:

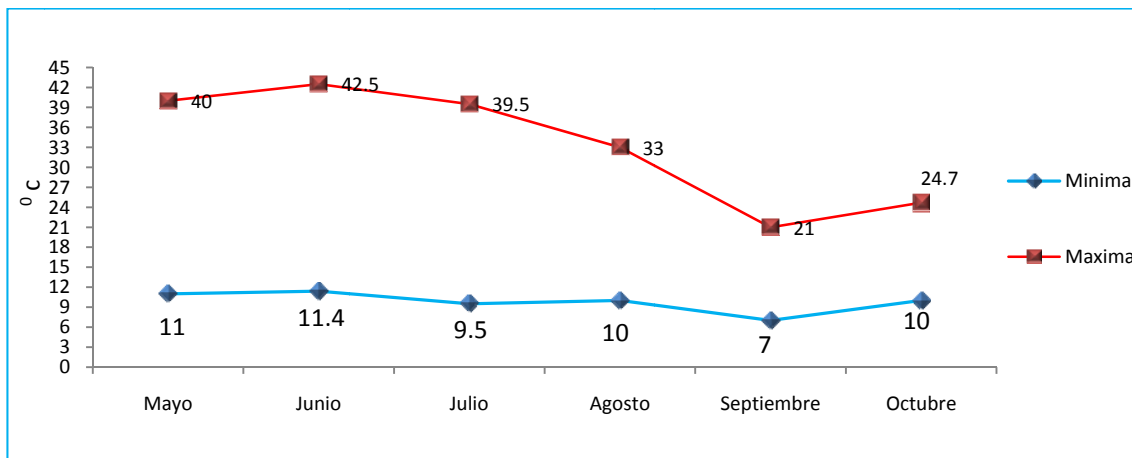


Figura 5.1 Promedio de temperaturas en el interior del invernadero durante el desarrollo del experimento.

Este factor ha sido fundamental en los experimentos de manera general, en el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate y la formación de la actividad fotosintética y de fruto; desde el establecimiento del ensayo la temperatura máxima muestra variaciones durante el ciclo de cultivo, llegó a descender de forma pronunciada de junio a septiembre (42.5°C a 21°C). Aunque, aumento levemente en octubre y esta representó 24.7°C.

No obstante, la temperatura mínima presentó variaciones bajas a partir de mayo, siendo el valor más alto en junio de 11.4°C y el mínimo valor de 7°C en septiembre (Figura 5.1).

5.4.2. Prueba de germinación

La variable porcentaje de germinación (PG) muestra en el análisis de varianza, (Cuadro 5.1) a los 10 días de haberse realizado la siembra, diferencias significativas entre los tratamientos, tomando valores entre 60 y 95 %, mostrando el mejor resultado que fue con el tratamiento aserrín; lo cual podría atribuirse a sus características físico-químicas, las que destacan su retención de humedad, porosidad total alta y reducida conductividad eléctrica, que son características óptimas e importantes; debido a que la semilla de tomate es de tamaño pequeño (5x4x2 mm) y de bajas reservas, lo que la hace muy sensible a las condiciones propias del medio donde se iniciara la germinación, estos resultados son similares a los obtenidos por Andrade (2002).

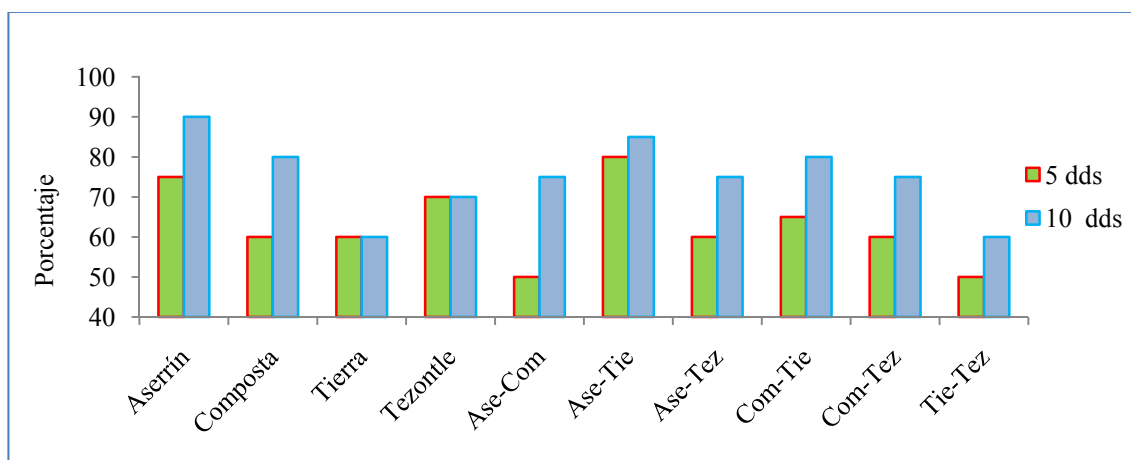


Figura 5.2 Porcentaje de germinación a los 5 y 10 días después de la siembra

Aparentemente, sumergir en agua las semillas previamente a la siembra durante 12 horas y aplicar el doble riego diario favoreció la germinación en aserrín, pero la limitó en los tratamientos tierra y tezontle-tierra, (Figura 5.2) ya que en estos dos últimos su baja infiltración restringió la aireación del sustrato y con ello la germinación como consecuencia de su baja capacidad de aeración y un bajo espacio poroso total, lo que concuerda con Handreck y Black (2002), mencionando que la porosidad total del sustrato afecta la capacidad de

intercambio gaseoso del medio, disminuyendo el contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar.

La temperatura es un factor importante para el PG. Para este experimento el promedio fue de 31⁰C alta y 13⁰C baja las cuales son favorables. Guevara (1999), indicó que conforme se incrementa la temperatura ocurre también un aumento en la intensidad de las reacciones metabólicas, por lo que el consumo de oxígeno en el embrión es mayor; esto aunado a que al elevarse la temperatura del medio se disminuye el oxígeno disponible en el riego y se dificulta aún más el intercambio gaseoso requerido por la semilla he ahí la importancia en el sustrato de poseer un espacio poroso total.

Las mezclas con base a composta mostraron un porcentaje de germinación entre 80 y 90%, según Companioni y Peña (1997), el aumento de la proporción de composta en el sustrato, para la producción de plántulas de tomate, favorece la germinación. Este sustrato y la mezcla de este, con otros, presenta en su composición ácidos húmicos y fúlvicos. Sin embargo, no tienen ninguna estimulación en la velocidad de germinación, aún, con la existencia de un aumento muy significativo del crecimiento posterior de las plántulas, siendo el efecto de los ácidos húmicos mayor que el de los ácidos fúlvicos para estos procesos de crecimiento. Nuestros resultados son contrarios a los obtenidos por Fernández (2000), para esta misma etapa, los cuales indicaron que a menor contenido de compost en la mezcla se obtuvo un mayor porcentaje de germinación

5.4.3. Días a emergencia

Los resultados significativos de esta variable se presentan en (Cuadro 5.1). La mayoría de las semillas tardaron entre dos y seis días en emerger en casi todos los sustratos evaluados. Consistentemente las semillas en el tratamiento aserrín fueron las primeras en germinar (dos días); el comportamiento fue similar en los distintos sustratos solo que con un día de retraso para alcanzar el máximo valor de cada tratamiento (Figura 5.3).

La mezcla tierra-tezontle y tierra (suelo agrícola local) mostraron un comportamiento menos uniforme, así como una velocidad de germinación baja, respecto al resto de los sustratos lo que indica desuniformidad en la germinación; estos resultados parecen estar relacionados con la mayor densidad real, la baja infiltración de agua, así como su retención de humedad y una conductividad eléctrica alta. Sin embargo, el efecto negativo de valores de CE altos se ve reducido en el tiempo, por efecto del lavado de sales a consecuencia del riego, en este caso pudo haberse inducido algún tipo de dormancia como mecanismo de defensa de las semillas. Bewley (1997), hace mención que es muy probable esperar algún problema de vigor de semilla como causante del retraso en la emergencia del tomate, aspecto común en semillas viejas o que han sido mal almacenadas.

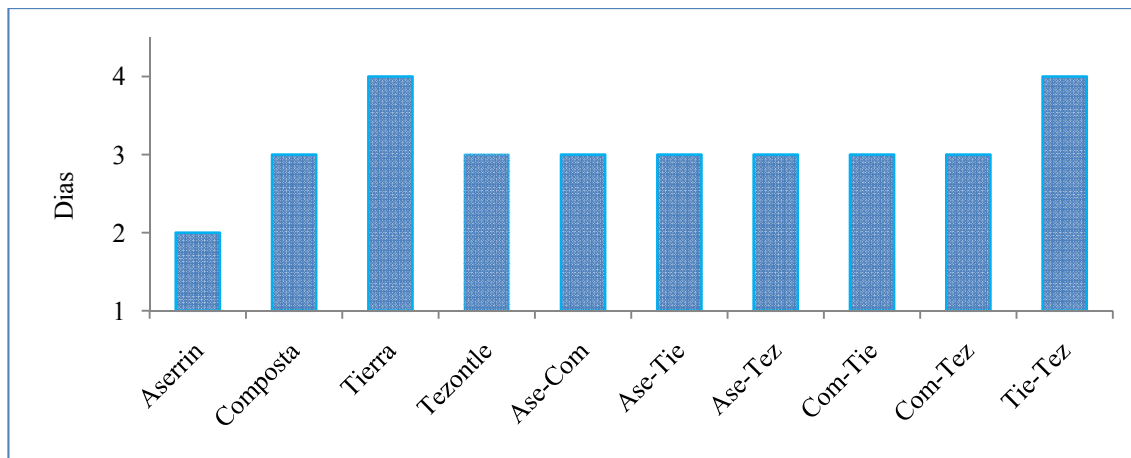


Figura 5.3 Inicio de la germinación de la semilla variedad Sun 7705

De igual forma Abou *et al.*, (1988), compararon el tiempo de germinación de semillas de tomate cv. Alfredo en distintos sustrato, entre ellos uno constituido por arcilla, arena y aserrín (1 y 1:1 de volumen) versus semillas cultivadas en camas de suelo semillero. Los autores, señalan que el tiempo de germinación se redujo entre 3 a 7 días, dependiendo del sustrato usado, y además registraron un menor requerimiento de agua para la germinación de las semillas, en comparación con las semillas aquellas en camas de suelo semillero. En el trabajo mencionado, muestran que tanto el aserrín tratado con cepas de *Agaricales* o pretratado con otros microorganismos y posteriormente mezclado con otros sustratos; es apto para el cultivo de plántulas de tomate o para mejorar las características físicas, químicas o nutricionales de los suelos, debido a que este es un sustrato biodegradable.

5.4.4. Dinámica de crecimiento de las plántulas (Altura)

La altura de las plántulas en la fase de semillero es uno de los parámetros de crecimiento que tiene mayor valor para determinar su aptitud para el trasplante. Según Singh (1998), los almácigos son dependientes del aporte de agua, nutrimentos, energía y aire que un medio pueda aportarle para un óptimo crecimiento. Estas condiciones a su vez están relacionadas con factores físicos y químicos como el pH, contenido nutricional, capacidad de intercambio gaseoso, agua disponible, temperatura, entre otros.

En cuanto a la dinámica de crecimiento para este experimento, en la primera medición (5 días después del inicio de la germinación), excepto los tratamientos tierra y tezontle-tierra alcanzan los valores máximos (Figura 5.4), los restantes no manifiestan diferencias significativas considerables entre ellos, lo que incitaría a decir que poseen características fisicoquímicas y nutricionales ideales lo cual favorece su desarrollo y crecimiento.

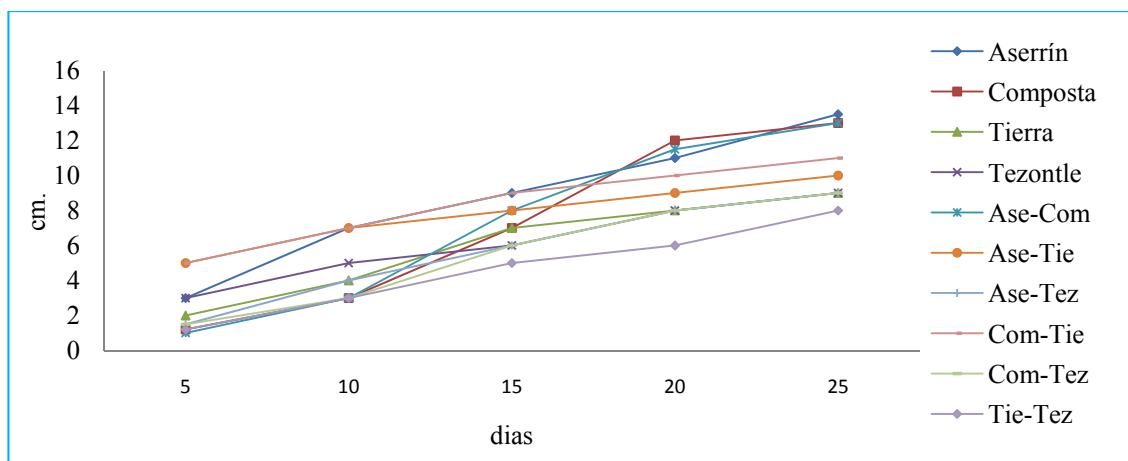


Figura 5.4 Efecto de los sustratos en la altura de plántulas

Se puede apreciar estadísticamente el efecto de los tratamientos en el crecimiento de la plántulas, 25 días después de la siembra, siendo la combinación aserrín-composta, composta y aserrín, los de mejores resultados con 13 y 13.5 cm respectivamente, sin diferencias significativas entre ellas. Resultados similares obtuvo Sandó *et al.*, (2006) según la proporción de composta.

El incremento de la altura de la planta, desde la primera medición hasta los 25 días, mostró que los tratamientos mencionados es debido a la utilización de la solución nutritiva y por las combinaciones entre ellos como el caso aserrín-composta que poseen mejores características físicas, mejorando la porosidad y proporcionándole al sustrato una mayor aireación que debe existir una relación interna entre las condiciones de aire del suelo y la velocidad de crecimiento de las plantas. Según Jacobo *et al.*, (1973), utilizar la composta como sustrato o en mezcla es favorable, debido a que tiene la capacidad de activar los procesos microbiológicos, fomentando simultáneamente su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad; junto con ello, actúan como regulador de la temperatura, que retarda la fijación de ácidos fosfóricos minerales, haciendo el fósforo más asimilable como macroelemento, ya que constituye el segundo elemento en importancia para el crecimiento de las plantas, formando parte de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos, las coenzimas NAD y NADP, y especialmente importante como integrante del ATP.

5.4.5. Diámetro de tallo

El grosor de tallo es un indicador del estado vigoroso de una plántula, muestra la fortaleza y resistencia que dicha planta puede tener al ser sometida a condiciones de campo o de invernadero.

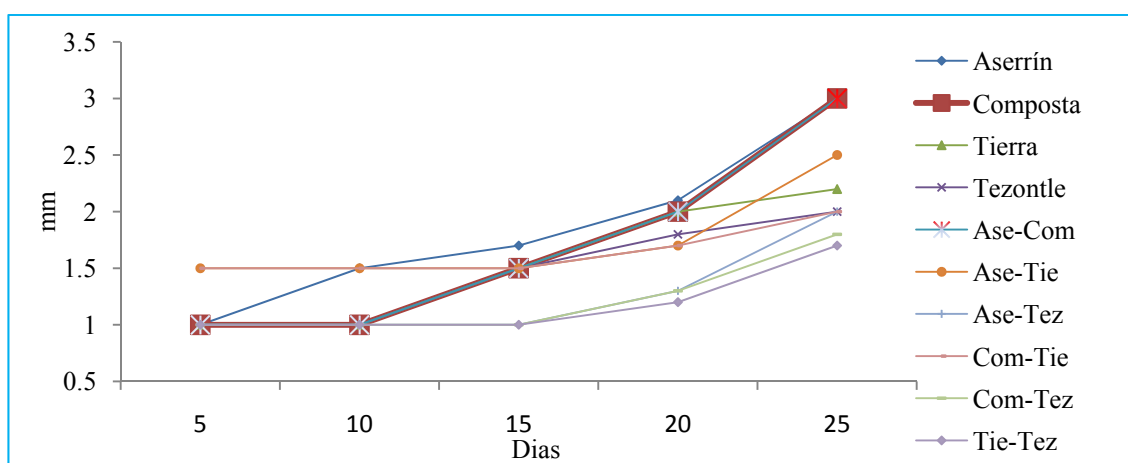


Figura 5.5 Efecto de los sustratos en el diámetro de tallo

En la figura 5.5 se presentan los resultados obtenidos en la medición de esta variable. Nuevamente destacaron los sustratos aserrín, aserrín-composta, y composta que

significativamente favorecieron un mayor desarrollo del tallo, además estos materiales registraron un alto valor que no difirió de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). El aporte nutricional que brindaron estos sustratos y sus adecuadas propiedades físicas, nuevamente ofrecieron las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas.

Los tratamientos composta-tezontle y tierra tezontle (relación 50:50) influyeron a los menores diámetros de tallo, diferenciándose de forma significativa del resto de los tratamientos; los cuales tuvieron un comportamiento intermedio. Estos resultados difieren con los obtenidos por Normann (1993), quien señala que las mezclas logran una mejoría en una o más propiedades del material original, siendo muy difícil encontrar en la naturaleza un material que, por sí sólo, satisfaga todas las exigencias de un sustrato ideal, sin embargo, evidencia que las características de los sustratos aserrín y aserrín-composta ya sea en mezcla o solos y al aplicar solución nutritiva posibilitaron a las plantas alcanzar mayor altura.

5.4.6. Número de hojas de plántula

El número de hojas emitidas es un parámetro importante del desarrollo biológico del cultivo, por ser la aparición de la cuarta hoja verdadera en el cultivo del tomate el marcador fenológico.

En la figura 5.6 se muestra el número de hojas que produjeron las plántulas en el período analizado, observándose las diferencias significativas influidas por los tratamientos en estudio, de los cuales el tratamiento composta logró el mayor número de hojas (9) a los 25 días, no diferenciándose estadísticamente del tratamiento aserrín, mientras que el tratamiento tierra dio lugar a plantas con el menor número de hojas en la fase vegetativa del cultivo; las plántulas de los restantes tratamientos tuvieron un comportamiento intermedio, no diferenciándose significativamente entre tratamientos.

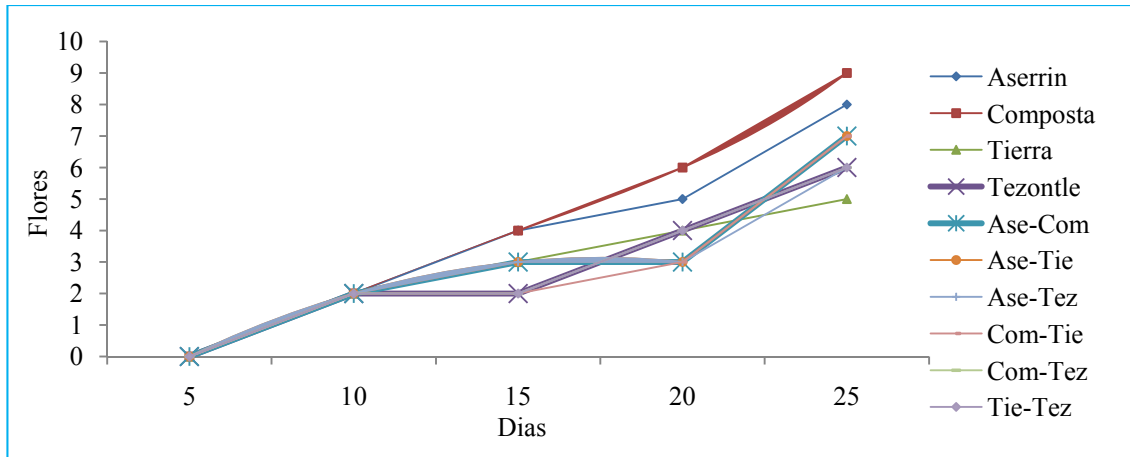


Figura 5.6. Efecto de los sustratos en el número de hojas

Verde y Álvarez (1994), dividen en dos subfases la etapa vegetativa, debiendo realizarse el trasplante con posterioridad a la emisión de la cuarta hoja; para este experimento en todos los tratamientos a partir del día 25 se superó alcanzó la segunda subfase de la etapa vegetativa, sin embargo, los tratamientos aserrín y composta lograron este valor a los 15 dds.

5.4.7. Calidad de adobe

Gran parte del éxito en la producción de plántulas recae en la calidad de adobe que se obtenga. Por adobe se entiende el agregado que forma las raíces de la planta con el sustrato, y para que sea considerado como apropiado debe permitir un buen desarrollo radical y además mantener la integridad de las raíces y su fácil extracción de la celda, sin dañar la raíz ni a la plántula, al tirar de la base del tallo. Otra consideración que también comprueba la calidad del adobe, es si adopta fácilmente la forma y tamaño del recipiente donde se establece debido a la manera como se distribuyen las raíces alrededor del sustrato en el adobe es un indicador de la uniformidad y homogenización del medio (Quesada y Méndez 2005).

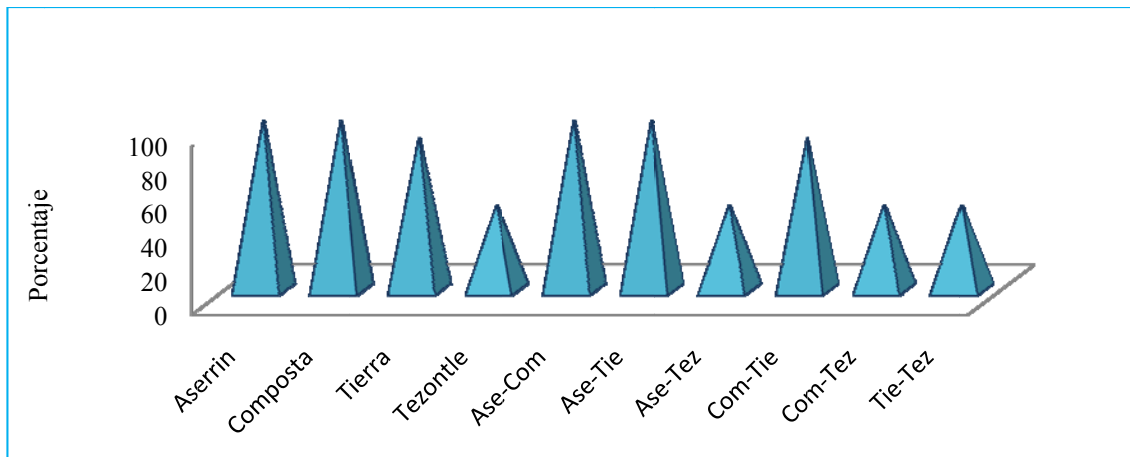


Figura 5.7 Calidad de adobe de los sustratos

Los valores de calidad de adobe se presentan en la figura 5.7, los sustratos aserrín, composta, tierra, así como las mezclas entre estos presentaron niveles óptimos de densidad, brindándole cuerpo al adobe entre 90 y 100%.

Estos resultados son similares a los producidos con turba y hay abundantes experiencias en su utilización por lo que es reconocida su capacidad atribuida a sus propiedades fisicoquímicas y buen adobe con 100% (Nelson 1991; Sawan *et al.*, 1999; Sirin y Sevgican 1999). No obstante el tratamiento aserrín y la mezcla aserrín-composta ofrecieron una excelente calidad de adobe para un trasplante exitoso, conjuntamente con los mejores resultados en cuanto a calidad de plántula. Sin embargo, respecto al aserrín (Anexo 1) el desarrollo de las plantas no fue bueno en la primera semana, debido al pobre aporte nutricional de los materiales que se estabilizó al aplicar solución nutritiva. Esto es distinto a la mezcla aserrín-composta, la cual contenía abono orgánico, por ello, el aporte nutrimental hace de estos sustratos un producto con alto valor comercial.

Respecto al tezontle, así como las mezclas en las que formó parte, presentaron menos del 50% de la calidad de adobe, esto se atribuye a que dicho tratamiento no es un componente que haga la función de agregación del adobe.

Generalizando todo lo antes expuesto, se observó que las características de los sustratos evaluados como tratamientos, tuvieron un efecto directo y diferenciado sobre el crecimiento y

desarrollo de las plántulas, que se reflejó en los valores alcanzados por las variables analizadas (altura, diámetro del tallo, número de hojas y producción de masa fresca y seca y calidad de adobe), destacándose el efecto del aserrín y aserrín-composta que mostró los mejores valores en las evaluaciones.

Este comportamiento refleja la influencia de las diferentes composiciones de sustrato y la solución nutritiva establecida, siendo los sustratos las variaciones en los contenidos de los materiales utilizados en las mezclas, y provocando que las mismas alcanzaran en igual tiempo, diferentes valores del crecimiento y desarrollo de las plántulas. Esto es atribuible a las propiedades químicas y físicas de cada composición de sustrato, fundamentalmente a las físicas, dado que los contenidos de nutrientes en todos los sustratos evaluados no fueron lo suficientemente altos como para permitir un adecuado desarrollo del cultivo; sin embargo, los valores de la densidad aparente y de la porosidad total, así como la solución nutritiva que poseen los tratamiento con mejores resultados, parecen haber tenido una influencia decisiva para que las plantas desarrollaran un mayor y más eficiente sistema radical, al permitirle a este una mejor penetración en el sustrato y una beneficiosa relación aire – agua/solución nutritiva posterior al drenaje del agua en exceso, producto del doble riego sistemático.

Debe destacarse que, con la utilización de sustratos aserrín y composta y la mezcla entre estos con la misma composición volumétrica, se obtuvieron los valores adecuados para los diferentes índices de crecimiento evaluados en las plántulas, lo que constituye una producción eficiente de plántulas.

5.5. Conclusiones

1. Se determinó que el aserrín y la composta son materiales adecuados para producir sustratos de alta calidad para el cultivo de plántulas de tomate, al obtenerse los mejores resultados cuando se combinaron ambos materiales que cuando se utilizaron de forma independientes; resultando la mejor combinación la relación volumétrica (50:50).
2. Se corroboró que los tratamientos aserrín y aserrín-composta permite obtener plántulas de tomate de alta calidad, estando listas para el trasplante en un tiempo menor (15 días), que es lo establecido tradicionalmente (28 - 30 días).
3. Se encontraron diferencias significativas en la calidad de las plántulas de tomate al evaluar las variables de respuesta en los diferentes tratamientos. Los valores obtenidos en los sustratos con tierra y tezontle, así como las mezclas en las que formaron parte, se encuentran por debajo de los rangos de calidad que se tienen establecidos para producción de plántulas, lo que indica que las características físicas y químicas de los sustratos no son las adecuadas para alcanzar un buen crecimiento y desarrollo.

CAPÍTULO VI. EXPERIMENTO II. EFECTO DE LOS SUSTRATOS EN CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL TOMATE (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL)

6.1. Introducción

La producción de tomate en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y calidad del fruto. La superficie empleada para cultivos en invernadero en México asciende a 9.958 ha. Los sistemas de producción varían en cuanto a variedades, sustratos de crecimiento, dosis de nutrimentos, técnicas de control de plagas y enfermedades, entre otros factores. Para el desarrollo y crecimiento de plantas de tomate, el sustrato empleado es un factor fundamental. Hartmann y Kester (2002), mencionan que en la actualidad existen una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, costo, disponibilidad y características propias del sustrato. Sin embargo, desde el punto de vista medioambiental los criterios más importantes para la elección de un material como sustrato en cultivos sin suelo son: su durabilidad y capacidad para ser reciclado posteriormente (Abad y Noguera, 2000). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de mezclas de aserrín de pino, composta, tierra agrícola y tezontle rojo en el rendimiento de tomate, en condiciones de invernadero.

6.2. Metodología

6.2.1. Obtención de plántulas

La semilla se germinó realizando la misma metodología que el experimento 1 previamente mencionado, el sustrato utilizado fue peat moss” (turba canadiense Sunshine®)

6.2.2. Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plantas tuvieron formadas entre 4 y 5 hojas verdaderas; es decir, a las cuatro semanas después de la siembra, una semana más a lo recomendado por Pérez y Castro (1999). Para efectuar el trasplante se hizo una aplicación Interguzan 30-30 ® a la raíz y al sustrato para evitar la presencia de patógenos en la plántula, de igual forma se efectuó un riego los sustratos y se trasplantaron a bolsas de plástico negro (calibre 40) de 4 litros, llenadas con los sustratos hasta 5 cm debajo de su límite superior, y en seguida se fueron colocando las plantas, hasta las hojas cotiledonales e inmediatamente se aplicó el riego con agua normal para su adaptación. El riego con la solución nutritiva se aplicó hasta el día siguiente.

6.2.3. Riego

Los riegos suministrados durante la siembra en charolas inicialmente se hicieron con agua, y en función del crecimiento se utilizó la solución nutritiva diluida 25%, 50%, 75%. Cada 12 horas. Una vez establecidas las plántulas en el contenedor definitivo se realizó riego por goteo, con un caudal superior a los 15 L/h⁻¹ se utilizó la solución nutritiva Steiner al 100%, se aplicaron tres riegos diarios a intervalos de 4 horas con una duración de 30 minutos suministrando en promedio 280 a 285 ml; el primer riego inició a las 9 am y el último a las 5 pm. El número de riegos se modificó según las condiciones de temperatura y humedad del interior del invernadero y los contenedores.

6.2.4. Poda

Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza a los 15-20 días del trasplante (Infoagro, 2000) con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, se mejora así la aireación del cuello. Se utilizaron tijeras de podar, procurando desinfectarlas con cloro al 2% en cada corte para evitar posibles infecciones por patógenos.

La poda de los brotes laterales (destalle) consistió en eliminar los pequeños tallos y/o brotes conforme aparecieron a lo largo del tallo principal. Como las plantas fueron conducidas a un solo tallo, la poda se realizó de manera continua conforme aparecían los brotes.

6.2.5. Tutoreo

Esta actividad se realizó con la finalidad de sostener la planta para facilitar la evaluación de las variables correspondientes, y para el manejo de las prácticas culturales (poda, polinizaciones, aspersiones) y la cosecha. El material que se utilizó para este propósito fue rafia color negro previamente desinfectada con hipoclorito al 2% durante 15 minutos, la cual se sujetó de la base del tallo de manera cuidadosa para no estrangular la planta; el otro extremo se sujetó de un alambre galvanizado que se encuentra en la parte superior del invernadero.

6.2.6. Manejo fitosanitario

Para el control de enfermedades y plagas (mosquita blanca, hongos bacterias virus y gusanos, entre otras.), desde plántula hasta cosecha, se realizaron aplicaciones periódicas (15 días) de fungicidas e insecticidas preventivos y correctivos (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1 Agroquímicos aplicados durante el desarrollo del experimento.

| Etapa fenológica | Tipo de aplicación | Enfermedad y/o insecto | Producto | Dosis | Momento de aplicación |
|-----------------------|----------------------|--|-------------------|---------------------|------------------------------------|
| Invernadero | Preventiva | insecticida | Cynoff | 1 g/L ⁻¹ | 3 días antes del inicio de trabajo |
| Sustrato | Preventiva | Hongos | Intergusan 30-30® | 1 g/L ⁻¹ | 2 días antes de la siembra |
| Semilla | Preventiva | Hongos | Intergusan 30-30® | 1 g/L ⁻¹ | 2 días antes de la siembra |
| Plántula | Preventiva | Damping-off camping-off mosquita blanca | Actara® 25 GW | 1 g/L ⁻¹ | 4 semanas después de la siembra |
| Desarrollo vegetativo | Preventiva | Botrytis, Tizon tardio, Mildiu | Mancozeb | 1 g/L ⁻¹ | Semanal hasta la cosecha |
| Desarrollo vegetativo | Preventiva y control | Mosquita blanca | Plenum | 1 g/L ⁻¹ | Semanal hasta la cosecha |
| Desarrollo vegetativo | Preventiva y control | Mosquita blanca | Actara® 25 GW | 1 g/L ⁻¹ | Semanal hasta la cosecha |

También se colocaron a un lado de los contenedores trampas de color amarillo untadas con pegamento Adhequin®. Además de estas medidas de control, se desinfectó el material y equipo utilizado para las actividades a realizar, antes y después de usarse.

6.2.7. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, se evaluaron 10 tratamientos producto de la combinación de los sustratos y cada unidad experimental estuvo constituida por 4 plantas, considerando los pasillos o área de manejo con una separación de 30 cm. entre unidades; en cada una se colocaron las bolsas de plástico con una planta correspondiente a cada tratamiento. Dentro de los tratamientos se utilizó un arreglo topológico a tresbolillo, ajustando la distribución para cada densidad de plantación, de tal manera que quedara uniforme (Figura 6.1).

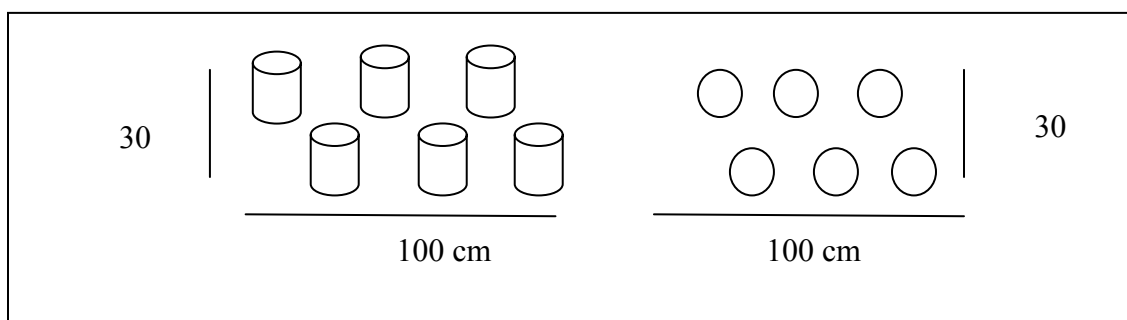


Figura 6.1 Distribución y distancia de las densidades de plantación en tomate a tresbolillo.

Todas las variables estudiadas fueron sometidas a un análisis de varianza, y aquellas con diferencias significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), mediante el paquete estadístico **Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)** (2008), a través del procedimiento ANOVA

6.3. Variables de respuesta

A los 25 días después del trasplante, se cuantificaron las siguientes variables (en un promedio de 2 plantas centrales de cada tratamiento y por repetición):

6.3.1. Altura de planta (cm)

Para ello, se realizaron mediciones cada 25 dds. Se empleo cinta metálica milimétrica (con error de lectura de 0,05 cm). Los puntos de referencias fueron la base del tallo y la yema apical.

6.3.2. Número de flores

Se contó el número de flores por racimo del primer racimo hasta el quinto de la unidad experimental para obtener el promedio.

6.3.3. Número total de frutos

Se obtuvo mediante la suma del número de frutos, chicos, medianos, grandes y extragrandes.

6.3.4. Rendimiento total por planta (g)

Se obtuvo mediante la suma de los pesos de frutos no comerciales, chicos, medianos, grandes y extragrandes.

6.3.5. Rendimiento por metro cuadrado (kg/m^2)

Se evaluó mediante la suma de kilos obtenido por seis plantas del mismo sustrato, este número es el equivalente a las plantas que se manejaron por metro cuadrado

6.4. Resultados y discusión

Cuadro 6.2. Análisis de varianza de las variables del experimento 2

| Variable | Suma de cuadrados | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------|------|
| Altura de planta 125 días | 49079.6 | 5453.2 | 39.2 | 0 |
| Diámetro de tallo 125 días | 4.4 | 0.4 | 134.1 | 0 |
| Número de flores | 867.5 | 96.3 | 34.2 | 0 |
| Frutos por racimo | 42.1 | 4.6 | 6.9 | 0 |
| Tamaño del fruto | 62.1 | 6.9 | 17.3 | 0 |
| Anchura del fruto | 28.2 | 3.1 | 131.6 | 0 |
| Peso del fruto | 16741.9 | 1860.2 | 246.9 | 0 |
| Rendimiento por m ² | 868.1 | 96.4 | 30.0 | 0 |
| Rendimiento por planta | 21.2 | 2.3 | 112.8 | 0 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

6.4.1. Altura de planta (cm)

En la figura 6.2 se observa la dinámica de crecimiento de la planta durante su cultivo. Los análisis de varianza muestran diferencias significativas para los tratamientos evaluados desde los 35 días después del trasplante (ddt) hasta los 125 ddt entre las plantas cultivadas en la mezcla de sustratos aserrín-composta en relación a las cultivadas en los otros tratamientos lo que venía siendo una constante en el primer experimento de esta investigación.

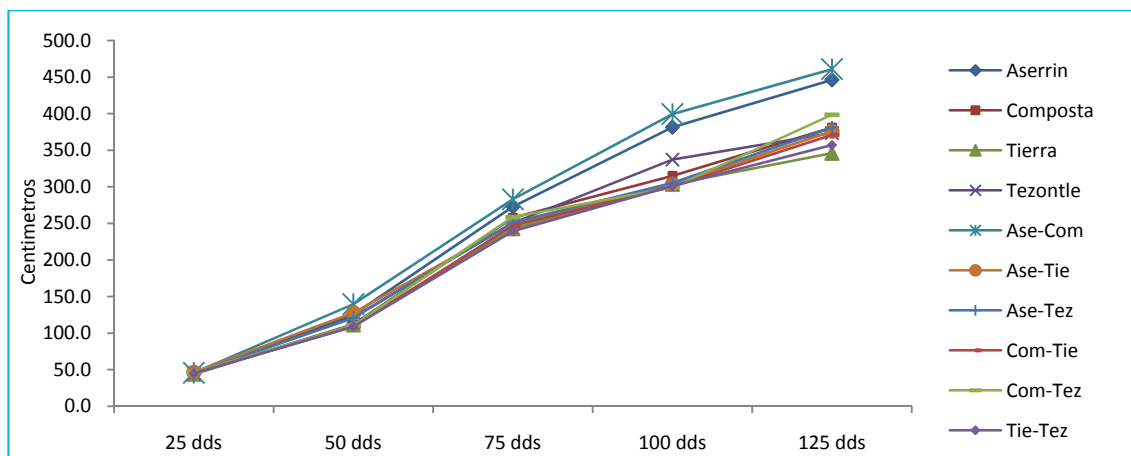


Figura 6.2. Comportamiento de la altura de plántula después del trasplante.

Para todos los tratamientos la curva de crecimiento fue de tipo sigmoideal, dándose ese punto de inflexión entre los días 50 y 100, lo cual es más apreciable para los tratamientos aserrín-composta y aserrín. Ese cambio notorio en la dinámica de crecimiento puede ser debida a que entre los días mencionados se tenían formados racimos y además estaban fructificando el 3 y 4; es decir, hubo una mayor demanda de asimilados para la formación de frutos. Khan y Sagar (1967), menciona que cuando los primeros tres racimos en fructificación están creciendo rápidamente hay gran demanda y esta es suministrada por las hojas medias. En la fructificación gran parte de la materia seca producida por una planta se acumula en los frutos, durante el tiempo en que los primeros cinco racimos están creciendo rápidamente (Hurd *et al.*, 1979). Asimismo, la capacidad de una inflorescencia para obtener asimilados se incrementa marcadamente de la floración a la fructificación, una vez que los frutos empiezan a crecer el rango de crecimiento vegetativo disminuye (Salter, 1958) e inclusive una carga abundante de frutos puede llegar a ocasionar la muerte de la raíz (Hurd y Price, 1997). El crecimiento neto de la raíz cesa cuatro semanas después de la primera antesis y el crecimiento de la hoja es reducido cuando el rango de crecimiento de fruto alcanza su máximo crecimiento (Hurd *et al.*, 1979).

A los 50 ddt la altura de planta en todos los tratamientos no presentó diferencias significativas. Al llegar los 75 ddt se expresaron diferencias siendo el tratamiento aserrín-composta el mejor, seguido del aserrín de tal forma que los resultados no variaron hasta los 125 ddt donde las plantas alcanzaron una altura de (4.61 m).

Santos (2003), citado por Apolinar (2006), menciona que en un trabajo realizado con la variedad de tomate Roma *cv.* Llanero de crecimiento indeterminado mostraron que a los 80 ddt la altura máxima fue de 2.48 m., comparado este dato con la altura obtenida por el tratamiento aserrín-composta este fue menor con (1.32 m). Sin embargo, los resultados obtenidos por Gaona y Juárez (2005), al emplear materiales tipo bola (la máxima altura fue de 2.34 m), con variedades: GC41598, Pitenza y Caiman tipo saladdette. Los valores mostrados son menores a los obtenidos en nuestro experimento, por lo que es importante mencionar que los datos son marcados como finales, y en esta investigación se obtuvieron valores de 4.86 m como altura final del cultivo.

Por otra parte, la porosidad de los sustratos basados en componentes orgánicos tienen entre 65 y 75% de espacio poroso (Fonteno, 1996). Abad *et al.*, (1993), citados por Ansorena 1994), consideran que el óptimo de espacio poroso debe ser mayor al 80% en volumen. La mezcla aserrín-composta utilizada en este estudio presentó una porosidad total de 62.5% en comparación a la de los otros sustratos que varió de 28 a 52%, lo cual representa mayor cantidad de oxígeno en la rizosfera de la raíz. Esto probablemente favoreció el crecimiento de las plantas cultivadas, en cambio donde se utilizó suelo local (tierra) como sustrato, el estrés provocado por la menor retención de agua y menor proporción de O₂ pudo haber ocasionado la reducción del porte de la planta y posteriormente el rendimiento como lo menciona Delfine *et al.*, (2000) y Azcón - Bieto y Talon (2000), una oxigenación adecuada, mejora el metabolismo y el equilibrio hormonal en las plantas, incrementa la tasa fotosintética y la absorción de nutrimentos, lo que da como resultado, plantas más productivas y más resistentes (Pinto *et al.*, 2000).

6.4.2. Diámetro de tallo

El tallo es el soporte de la planta y el sistema distribuidor principal de agua y nutrientes, de ahí que es importante que se encuentre en las mejores condiciones posibles debido a que influye de manera significativa en el rendimiento, tal como lo mencionaron Stevenson y Merters (1980), Esau (1976) y Adams (1982), el tallo es un órgano de sostén, traslocación de agua, nutrimentos y asimilados, de arquitectura y de almacén, funciones de gran importancia en la productividad de los cultivos.

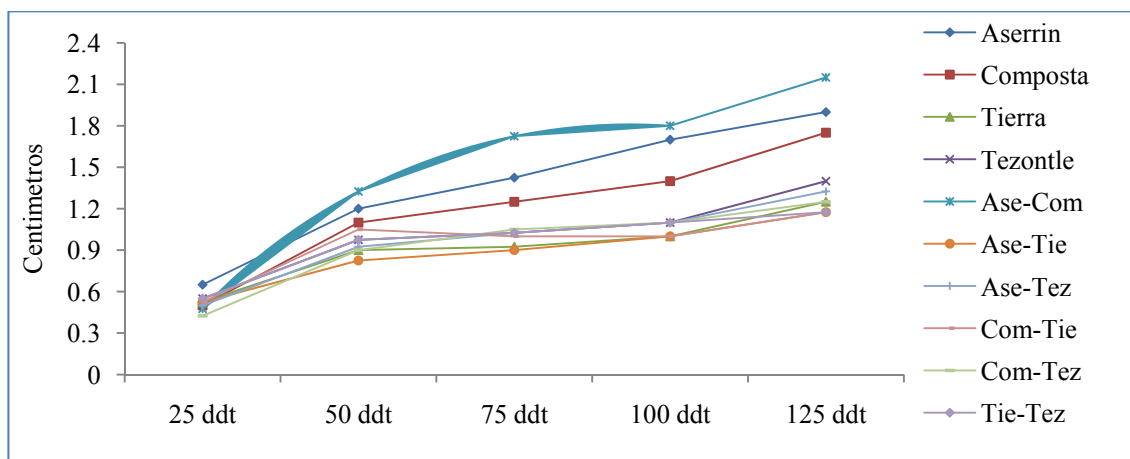


Figura 6.3 Dinámica del desarrollo de diámetro de tallo cada 25 días

De acuerdo con el análisis de varianza para esta variable, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos excepto los primeros 50 ddt para la variable grosor de tallo. Al igual que la variable altura de planta la diferencia fue más significativa en aserrín-composta con respecto a los otros tratamientos (Figura 6.2); a partir del día 75 las plantas desarrolladas en este tratamiento presentaron mayor grosor de tallo (1.7 cm) mientras que en los sustratos restantes fluctuó entre 0.9 a 1.4. Para los 125 ddt la diferencia no se modificó y permaneció el tratamiento aserrín-composta el más significativo con 2.1 cm. éste valor está por debajo de los reportados en la literatura. Rodríguez *et al.*, (1984) señala que el diámetro del tallo puede llegar a los 2.5 cm de tal forma que a mayor diámetro de tallo incrementa el número de frutos y en consecuencia el rendimiento, como lo sustenta Moorby (1981), al mencionar que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, así como una mayor área de xilema posibilita un mayor transporte de agua y nutrimentos hacia los órganos reproductivos.

Gaona y Juárez (2005), señalan valores de 1.49 cm para la variedad Badro en tomate tipo bola y en materiales tipo saladette, la variedad Pitenza y variedad 180 con 1.39 cm ambas, con valores menores a los encontrados en este trabajo (1.1 cm valor menor y 2.1 como máximo valor) y similares a los de Zarate, (2007) con 1.65 cm valor menor y 2.2 como máximo.

Estos resultados están estrechamente relacionados con las características fisicoquímicas del sustrato. Sin embargo, el área total de tallo y sus diferentes tejidos pueden ser afectados por factores ambientales y de manejo, así, temperaturas elevadas (30°C) propician el crecimiento de tallos delgados (Folquer, 1976) y con mayor proporción de tejido parenquimatoso (Chamarro, 1995 y Picken *et al.*, 1986). Asimismo, luminosidades bajas dan lugar a tallos delgados y débiles con mayor proporción de tejido parenquimatoso (Chamarro, 1995 y Kinet, 1977). Además, una mayor área de parénquima, puede implicar mayor reserva de asimilados, lo que en condiciones restrictivas, por algún tipo de estrés como es alta densidad o área foliar excesiva (sombreado), puede conducir a que estas reservas sean parcialmente removilizadas a los frutos en crecimiento (Moorby, 1981). Sánchez (1997), reportó que áreas altas de floema propician mayores tasas de traslocación de asimilados hacia los frutos por presentar menor resistencia al flujo, facilitando así el crecimiento. Respecto al xilema Picken *et al.*, (1986)

reportó que las condiciones de crecimiento, influyen sobre su comportamiento, así en tallos delgados el desarrollo es mayor.

Otro factor que puede modificar la variable mencionada es la densidad de plantación, teniéndose que a mayor densidad, menor diámetro de tallo, reflejándose también en las áreas de los diferentes tejidos (Sánchez, 1997). Para este experimento la densidad de siembra fue de 6 plantas por metro cuadrado (Figura 6.1).

Los diámetros de tallo más bajos se presentaron en el tratamiento tierra-tezontle y tierra como consecuencia de sus características y propiedades fisicoquímicas, lo que no permitieron una buena aeración así como una baja capacidad de retención de humedad. Leperen *et al.*, (2003), menciona que el estrés hídrico causado por una mala distribución del xilema provoca la abscisión de frutos, esto refuerza la importancia de tener un tallo en buenas condiciones y de buen diámetro.

6.4.3. Número de flores.

La flor de tomate tiene mecanismos que le permiten lograr hasta 98% de autopolinización, la cual, no es suficiente para producir frutos de alta calidad. Se ha comprobado que el tamaño del fruto depende directamente de la cantidad de granos de polen que se depositan sobre el estigma; así, a menor cantidad, se producen frutos más pequeños, con pocas semillas y deformes (Free, 1970).

El tratamiento aserrín junto con el aserrín-composta presentó el mayor número de flores (Figura 6.4) lo que pudo deberse a una mejor absorción de la solución nutritiva dadas las características del sustrato. Otro aspecto a considerar es que son orgánicos y estos presentan un mejor contenido de nutrientes asimilables, ya que según Adams *et al.*, (1973), las deficiencias minerales, particularmente en nitrógeno, fósforo y potasio, retrasan el desarrollo de las flores pudiendo provocar incluso el aborto de las mismas, este efecto puede ser especialmente importante en plantas sometidas a estrés hídrico y temperaturas elevadas lo que

promueve la exerci3n del estilo y reducir la autopolinizaci3n y cuajado del fruto tal es el caso del tratamiento tierra (suelo local) donde se present3 el menor n3mero de flores.

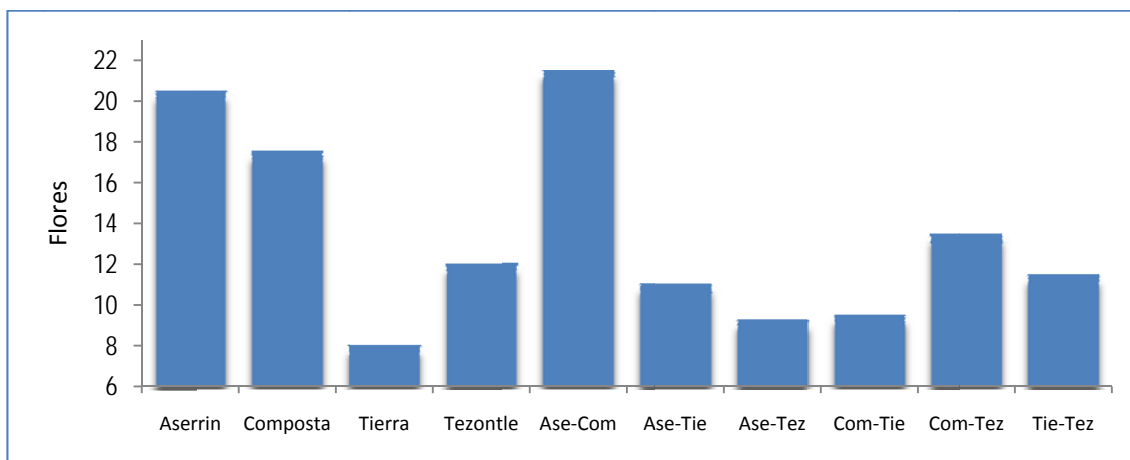


Figura 6.4 Número de flores por racimo

Sin embargo, el aumento en el número de flores incrementará el potencial de competencia entre frutos dando como resultado frutos de menor tamaño. Por otro lado, las variedades 'determinadas' de tomate tienen un período prolífico de floración y posteriormente un período de crecimiento del fruto contrario al indeterminado pero en ambos tipos de tomate, la producción puede ser limitada por la incapacidad de las flores para producir frutos (Gates 1955).

Un aspecto a considerar en esta investigación, son las altas temperaturas dentro del invernadero (Figura 5.1) así como la forma del invernadero (tipo túnel), debido a que la altura máxima del invernadero es en la parte central de 3.5 metros y en la parte lateral 2 metros, por lo que la altura de la planta superó las del invernadero y conforme se acercaron las inflorescencias a la parte más alta del mismo fue menor la fecundación, por esta razón, las flores pueden detener su desarrollo y envejecer prematuramente antes de que se abran completamente. Bajo condiciones extremas de alta temperatura todas las flores de una inflorescencia se pueden perder, cuando esto sucede antes de la apertura completa ocasiona aborto de flores, contrario a lo que menciona Calvert (1957), existe una interacción entre temperatura e iluminación, cuando las temperaturas son bajas, se favorece a la formación de flores en plantas cultivadas con iluminación baja. Mientras que Kinet (1977), menciona que

las temperaturas elevadas aceleran generalmente el desarrollo de las flores pero también pueden aumentar la incidencia del aborto de las yemas.

Ponce (1995), mencionó que el número de frutos por planta se asocia a las partes morfológicas de estas, así, el número depende en gran medida del tipo de inflorescencias que posean los cultivares, ya sean simples o compuestas (Rodríguez *et al.*, 2001). Esperándose que racimos compuestos posean un mayor número de flores y consecuentemente un mayor número de frutos; sin embargo, esto está en función del amarre de los frutos.

6.4.4. Características de fruto (tamaño anchura y peso)

Para poder analizar el rendimiento de una planta es necesario el estudio de sus componentes del rendimiento. En el caso del tomate, los componentes del rendimiento son, el número de frutos por planta y el peso de fruto.

El número de frutos por planta está determinado por el número de flores que son fecundadas y alcanzan a desarrollarse en fruto. Así, dichos componentes del rendimiento que involucra procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, está fuertemente influenciado por la relación fuente-demanda en diferentes fases del ciclo de vida de la planta. El peso del fruto, a su vez está determinado por la relación entre la potencia de la fuente y la potencia de la demanda durante el periodo de crecimiento del fruto. Esta relación determinará la máxima cantidad de asimilados que producirá la fuente y que aceptará la demanda, y que se puede traducir en una tasa de absorción o incorporación de asimilados por unidad de peso del tejido-demanda, más las pérdidas por respiración.

Para realizar el análisis de varianza de estas variables se consideró el peso de los primeros cinco racimos. Se mostró que hubo diferencias significativas entre tratamientos en todos los caracteres: longitud, diámetro y peso, con esta información se procedió a realizar una prueba de comparación de medias Tukey (0.05) buscando detectar los sustratos con comportamiento sobresaliente en los caracteres evaluados (Anexo 2). La prueba de comparación de medias muestra que en las variables evaluadas también hubo diferencias significativas ($\alpha 0.05$); y

aunque no se comportan de manera similar, no resulta difícil seleccionar al aserrín-composta, ya que estadísticamente es el que presenta los mejores resultados (107.8 g 11.3 cm y 6.3 cm) con estas consideraciones resulta un mecanismo práctico para escoger la mezcla de estos sustratos.

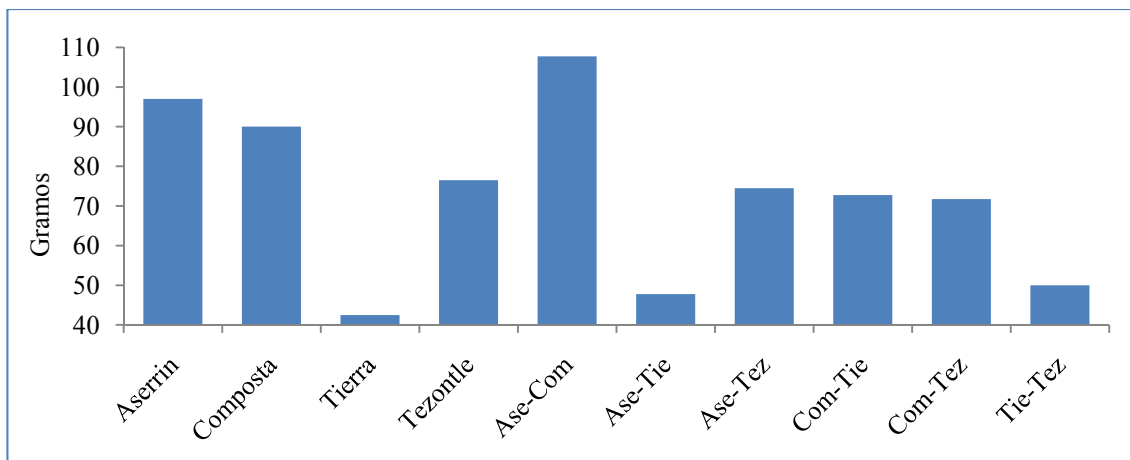


Figura 6.5 Promedio de peso de fruto

La razón de obtener los mejores resultados en este tratamiento se atribuye al efecto constante de la solución nutritiva utilizada y la mezcla de los sustratos orgánicos, debido a que Wereing y Patrick (1975), señalan que el número de frutos involucra procesos fisiológicos como la relación fuente demanda. Sin embargo, Cancino (1990), encontró que el tamaño de fruto (estrechamente relacionado con el peso del fruto) depende de tres a cinco pares de genes, aspecto que concuerda con lo señalado por Ashcroft *et al.*, (1993), quienes argumentan que el tamaño del fruto está controlado por factores genéticos, además de factores fisiológicos; tales como maduración, despunte y defoliación. Asimismo, Ponce (1995), mencionó que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo, tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia, siendo pequeños los del extremo y más en los últimos racimos de la planta.

Es importante destacar que los resultados respecto a el peso son distintos a los mostrados en la ficha técnica para la variedad Sun 7795 (Sunseeds. 2009) donde menciona que la característica para este variedad es de 120 a 140 g. sin mencionar diámetro y longitud. Sin

embargo, los resultados obtenidos para esta variable son muy superiores a los mencionados por Ortiz (2004), al evaluar la misma variedad y mostrar el mejor tratamiento utilizando como sustrato suelo acolchado con 83.3 g promedio en fruto.

6.4.5. Número de frutos por planta- racimo

El número de racimos, el número de flores por racimo, el porcentaje de flores cuajadas por racimos y el peso medio del fruto son componentes de la producción en el tomate. En variedades de crecimiento indeterminado, es difícil armonizar un elevado número de frutos por racimos con la regularidad del cuajado; especialmente a partir del 4^o y 5^o racimo se produce un notable descenso del porcentaje de cuajado atribuido a la carga fisiológica de la planta. A pesar de ello, se han conseguido desarrollar excelentes variedades de tamaño de fruto pequeño-medio (120-200 g). Estas variedades tienen altas producciones, alcanzando rendimientos con más de 15 kg/m², altos índices de cosecha y, lo más importante, altos índices de cosecha comercial. Esto es, se ha conseguido minimizar la fracción de destrío optimizando la producción de valor comercial, con frutos de calibre uniforme, dentro y entre racimos, para un tipo de variedad dado.

Respecto al número de frutos totales por planta para este experimento, resultó significativamente mayor en el tratamiento aserrín con 44 frutos por planta (8.8 frutos por racimo), seguido del aserrín-composta y por último la tierra (suelo local) (Figura 6.6). Estos resultados son similares a los obtenidos por Zarate (2007) que utilizó como sustrato fibra de coco

El aserrín presentó la mayor cantidad de frutos (44 por planta), no obstante, el peso de estos, así como el rendimiento total no fue el mejor (3.3 kg), ya que lo superó la mezcla aserrín-composta (4 kg), estos resultados pueden atribuirse a las características mismas del sustrato. Por otro lado, el aserrín presentó mayor número de flores (Figura 6.4) influenciado a través de las características fisicoquímicas del sustrato y las temperaturas para producir mayor número de frutos con menor peso.

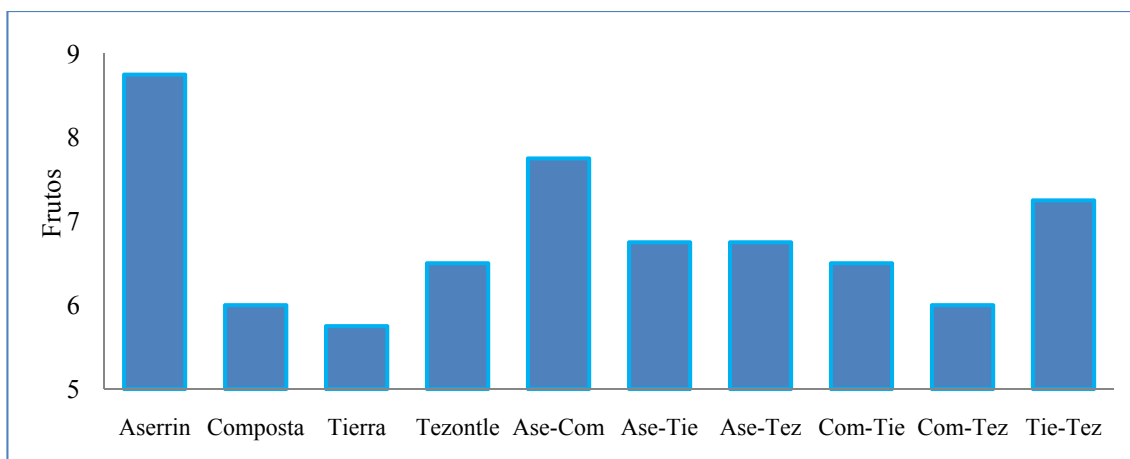


Figura 6.6 Número de frutos por racimo

Aunado a lo anterior, Sion (1979), citado por Antonio y Solis (1999) y Ponce (1995), señalan que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia (lo cual está estrechamente relacionado con el peso medio de los frutos), siendo pequeños los frutos del extremo y más aun en los últimos racimos de la planta.

Escalante (1989), dice que a mayor tamaño de fruto se tiene menor número de frutos. Esto se corrobora por las características de cada cultivar, ya que los fotosintatos que asimila la planta en algunos casos aumenta el número de frutos y en otros aumenta el tamaño (Marrero, 1986). Sion (1979), citado por Antonio y Solis (1999), demostró que al aumentar el peso del fruto se redujo el número de ellos por planta existiendo una correlación negativa. Por lo tanto, para alcanzar mayores calibres es fundamental la poda de frutos y esta se realiza cuando el fruto alcanza el tamaño de un garbanzo. Al mismo tiempo se aprovecha para eliminar frutos deformes y conseguir mayor uniformidad de ellos. Cabe aclarar que el tamaño de fruto no depende únicamente del número, debido a que cuando hay temperaturas altas (mayores de 38°C) puede ocurrir una mala o nula fecundación y por lo tanto, los que tienen una mala fecundación no tienen una gran cantidad de semillas, en consecuencia se obtienen frutos pequeños y mal formados. Esto sucede debido a que el polen muere principalmente por deshidratación al haber alta temperatura y baja humedad relativa. En este estudio se presentaron temperaturas superiores a los 38°C causando dicho efecto (fruto pequeño y mal formado) en todos los tratamientos (Pérez y Castro, 1999). Zarate (2007), evaluó la misma

variedad que en este experimento y obtuvo un rendimiento por racimo de 8 frutos, señala que al cultivar la variedad Loreto presentó mayor número de frutos debido a que genotípicamente es una variedad de óptima cobertura de fruto y un excelente amarre y tamaño uniformé.

6.4.6. Rendimiento por planta kg/m^2

Wereing y Patrick (1975), mencionan que el análisis del rendimiento de un cultivar implica el estudio de sus principales componentes, que en el caso de jitomate están dados fundamentalmente por el número y el peso medio de frutos. De tal forma que el rendimiento por planta, m^2 así como el económico del cultivo del tomate es resultante de la combinación entre el número de frutos cosechados por unidad de área y sus tamaños individuales. El tamaño del fruto es un factor de calidad sumamente importante y debe ser lo más uniforme posible durante todo el ciclo de producción. (Ho, 1996) dice que el tamaño potencial del fruto está definido por el número de células del ovario fijado en pre-antesis, mientras que su tamaño real es consecuencia de la elongación celular durante el período de crecimiento rápido.

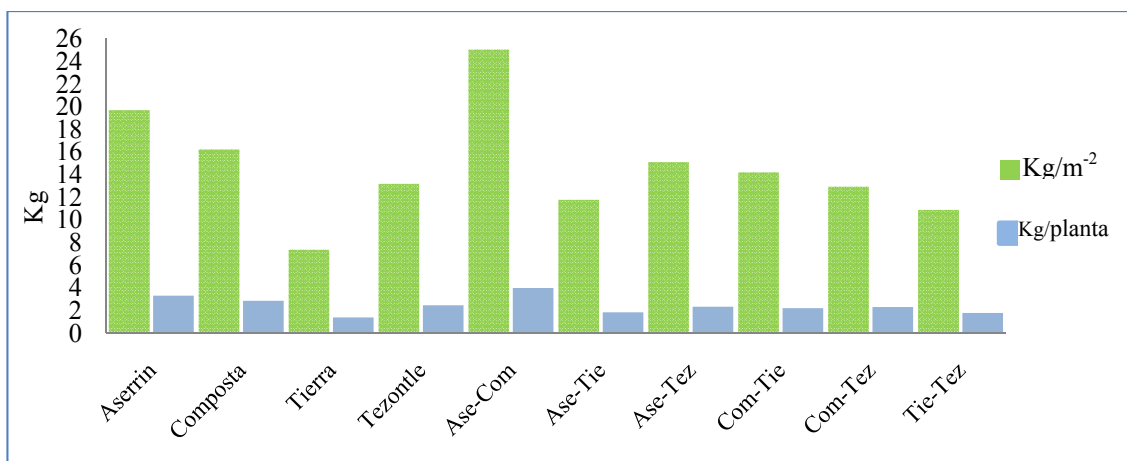


Figura 6.7 Rendimiento de tomate por planta y m^2

En la prueba de comparación de medias para rendimiento total, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, destacando como era de esperarse el tratamiento aserrín-composta con 4 Kg/planta, y 25 Kg/m^2 . (Figura 6.7). Estos resultados son menores a los de Zárate (2007) con 5.83 kg/planta y 35 kg/m^2 pero, más altos los reportados por Ortiz (2004) con 8.2 kg/planta y 17.2 kg/m^2 . De la misma manera Bernabé y Solís, (1999) reportan

resultados similares a este trabajo donde utilizaron el genotipo PS 388164 con resultados de 4.26 kg/planta 25.5 kg/m², es importante mencionar que los datos con los que se compara el rendimiento de este experimento se obtuvieron bajo condiciones ambientales distintas. Según Acevedo y Feres, (1993), para definir la producción potencial de un genotipo como la que muestra en un ambiente particular para el que está adaptado, en condiciones para las que los nutrientes del suelo y el agua no son limitativos y donde otros factores de estrés están efectivamente controlados. A medida que un genotipo se cultiva en áreas más y más extensas aumenta la variabilidad ambiental y la presencia de factores limitantes, con lo que la producción desciende de sus niveles potenciales. Es importante señalar que los datos kg/m² son equivalentes a 6 plantas por metro cuadrado. En relación con la densidad de población, la mayoría de las publicaciones sobre tomate en invernadero recomiendan 3 a 4 pies⁻² (90 cm⁻²) por planta, lo cual equivale a sembrar alrededor de 35 500 y 27 800 plantas ha⁻¹. Hochmuth (1995), menciona que una densidad optima aceptable es una planta en 3.5 pies⁻² (100 cm⁻²). Sin embargo, Resh (1992) hace referencia a densidades equivalentes a 46 000 plantas ha⁻¹ en California y Arizona con muy buenos resultados.

6.5. Conclusiones

1. El mejor sustrato fue la mezcla aserrín-composta, debido a que presentó los mejores resultados en la mayoría de las variables y respuesta evaluadas,
2. El aserrín y la mezcla aserrín-composta mostraron una mayor estabilidad, buena capacidad de aireación para el sistema radicular, alta porosidad, adecuada retención de agua, confiriendo un alto poder tampón en fertirrigación e hidroponía, adecuada estabilidad del pH y buena retención de la solución nutritiva.
3. Los sustratos tierra y tezontle, así como en los que formaron parte no resultaron satisfactorios para una producción de tomate debido a sus características fisicoquímicas.

CAPÍTULO VII. ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN PARA EL CULTIVO DEL TOMATE EN INVERNADERO EN EL MUNICIPIO DE CHIGNAHUAPAN PUEBLA

7.1. Introducción

Los resultados de investigación no pueden quedar al margen del conocimiento de los productores, de los técnicos y de las instituciones del sector, es por ello, que en el presente trabajo se ha definido una estrategia operativa de divulgación. En ella, queda implícita la manera en que los productores podrán lograr mejorar la producción de plantas y sus rendimientos de tomate bajo invernadero, de tal suerte que puedan alcanzar sus objetivos y metas, con los recursos necesarios para la producción. Se han considerado elementos importantes de la estrategia como investigación, divulgación de tecnología, asesoría de productores, vinculación institucional y programa de capacitación que incluyen actividades específicas como las siguientes:

7.1.1 Investigación

El manejo y decisiones prácticas es una de las actividades importante en cualquier programa de producción, donde se pueden estudiar una cantidad de factores que afecten la misma, se pueden incluir variedades mejoradas o criollas, uso de materiales orgánicos compostados de origen local, los minerales, el control de la dosis de nutrientes solubles, el agua entre otros. Estos factores y otros más pueden llegar a responder necesidades y problemática de investigación a considerar para aumentar la producción y la seguridad de alimentos que tanto demandan las familias rurales.

Acciones de investigación que se pueden considerar como parte estratégica podrían ser las siguientes:

- 1.- Identificar los componentes de la tecnología de invernaderos tipo túnel de mayor producción, así como generar conocimiento sobre las limitaciones del ambiente interior al

manejar diferentes tipos de estructuras, materiales y tamaño en una región como la de Chignahuapan, Puebla.

2.- Diseñar alternativas tecnológicas de producción con el uso de materiales locales orgánicos y minerales, como un primer acercamiento a una recomendación racional con base a sustratos locales.

Los elementos a considerar en esta estrategia de investigación, podrían ser: a) un primer acercamiento a la tecnología generada en el presente trabajo como una base para la continuación de otras investigaciones, b) el conocimiento tradicional de la familia campesina en invernaderos, c) el problema específico a investigar, y d) la aplicación de los resultados obtenidos por productores y productoras que tengan invernaderos tipo túnel.

7.1.2. Divulgación de la tecnología

Las innovaciones tecnológicas y el conocimiento científico generados en los distintos sitios que se destinan para dicha acción, tienen escaso impacto puesto que no está establecido un puente entre el quehacer científico y la sociedad por lo que no permite generar beneficios socioeconómicos y por lo tanto no es retribuido, debido a la falta de comunicación eficiente entre la comunicación científica y la sociedad.

Divulgar la ciencia es propagarla, publicarla, extenderla, ponerla al alcance del público. Es también el efecto de extenderla, derramarla. No obstante, aunque pudiera parecer un sinónimo de divulgar, difundir la ciencia y las innovaciones tecnológicas es considerada una acción dirigida a los pares, es decir un científico difunde su conocimiento a otro científico, mientras que un divulgador enfoca sus explicaciones, narraciones y propósitos a la sociedad.

Las estrategias de divulgación son tantas como la imaginación lo permita. La condición es que las propuestas estén referidas a la cultura, que tengan relación con el arte, la política y los usos y costumbres del lugar en cuestión. Frecuentemente implican el aspecto mediático; radio, televisión, prensa escrita y electrónica, museos interactivos, boletines, etc.

La transmisión directa de conocimientos e información mejora las oportunidades de desarrollo para los participantes, plantea nuevas interrogantes para la toma de decisiones y el manejo y aprovechamiento de los recursos disponibles.

El éxito de la divulgación de las nuevas tecnologías, requiere la presencia de personal profesional que otorgue servicios y asistencia técnica de la misma forma de agentes de cambio con vocación de servicio; seguridad, permanencia y remuneración.

La divulgación propuesta consiste en actividades orientadas a promover los resultados de investigación de la tesis a pequeños productores que cuentan con invernaderos tipo túnel, y con el propósito de motivarlos para que adopten la tecnología generada. Los medios de comunicación a través de reuniones, presentación de resultados, boletines, carteles y folletos son una de las herramientas a considerar. El establecimiento de un invernadero demostrativo en donde se podrán aplicar los resultados de la investigación realizada demostrará a los productores, instituciones, técnicos y público en general las bondades de las recomendaciones generadas durante el proceso productivo. Asimismo, revisiones pertinentes y diálogos con productores sobre sus resultados precisarán las recomendaciones. También, los productores podrán intercambiar experiencias, discutir y analizar en la práctica los resultados o bien, los aciertos y errores derivados al dejar de aplicar una práctica o insumo, que les permita seguir mejorando el manejo y la producción de tomate bajo invernadero. Se propone para abaratar los costos de plantas y continuar generando información sobre la producción de tomate, involucrar en esta propuesta a los prestadores de servicio profesional.

7.1.3. Asesoría a productores

Esta actividad va orientada a proporcionar información necesaria y relevante a los productores, principalmente de innovaciones que se puedan incorporar a la producción en aspectos técnicos, semillas, insumos, financiamiento de programas del estado, apoyos a la organización, experiencias de otras organizaciones y cursos de capacitación que permitan fortalecer a los productores y mejorar su conocimiento sobre los invernaderos y la producción.

7.1.4. Vinculación institucional

Este elemento es fundamental para el desarrollo agrícola en los invernaderos, que son un laboratorio de conocimientos, ya que depende de una gran cantidad de acciones con el sector institucional y los centros de investigación a través de la relación con los investigadores, técnicos, tesistas, y prestadores de servicio profesional (PSP). Actualmente existen Centros de investigación, universidades e institutos que están investigando diversos aspectos relacionados con tecnologías en tomate y para otros cultivos, por lo que sus resultados de las investigaciones aplicadas, podrán ser tomados en cuenta para seguir avanzando en el conocimiento de la producción, conjuntamente con las y los productores. Por otra parte, las dependencias federales, estatales, y municipales, son una fuente de recursos y oportunidades, proporcionan apoyos y servicios a productores a través de sus programas que incluyen la seguridad alimentaria para las familias de los ámbitos rurales. También, el municipio es la clave para el desarrollo de los sistemas agrícolas bajo invernadero, ya que cuentan con recursos a través de las coordinaciones de desarrollo rural, que podrían beneficiar a los productores y productoras.

7.1.5. Programa de capacitación

Tomando como base la experiencia obtenida durante el desarrollo de esta investigación en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero de traspatio, se creó un programa de capacitación (Cuadro 7.1) este es de acuerdo a las necesidades y condiciones de las y los productores y del municipio de Chignahuapan por lo que debido a sus características y los materiales utilizados para lograrlo resultaría complicado repetirse en diferentes regiones.

Cuadro 7.1 Programa de capacitación

| | |
|------------------------------------|--|
| Título del programa | Producción de tomate en invernadero en el municipio de Chignahuapan Puebla |
| Tipo de curso | teórico, práctico y visual |
| Duración | 6 sesiones de dos horas |
| Número de participantes por sesión | 30 participantes |
| Propósito del curso | Dar a conocer detalles técnicos, tecnológicos y prácticos para el |

| | |
|--|--|
| | cultivo de tomate |
| Objetivo general | Que el participante adquiriera los elementos necesarios y los parámetros a considerar para el cultivo de tomate bajo invernadero |
| Contenido del curso | Tema 1. Manejo de invernaderos Tema 2. Tipos de sustratos para la producción Tema 3. Producción de plántulas y trasplante Tema 4. Labores culturales Tema 5. Solución nutritiva y riego Tema 6. Manejo sanitario fitosanitario Tema 7. Cosecha |
| Perfil de los participantes | Productoras y productores con invernadero |
| Requerimientos del lugar de impartición | |
| Mobiliario | Butacas, pizarrón, rotafolio, mesas y sillas |
| Equipo | Retroproyector (cañón) computadora, rotafolio |
| Material didáctico | Hojas para rota folio, manuales, , marcadores, lápices, cuaderno |
| Requerimientos para el desarrollo de ejercicios y prácticas | |
| Instrumento, materiales equipo e instalaciones | Termómetro, charolas para germinación, fertilizantes, rafias, bolsas de hule negro para 4 litros de sustrato, semillas de tomate, aserrín, compostas y agua |
| Materiales e insumos | Pala, guantes de látex, carretilla |

El programa de capacitación se diseña con el orden al desarrollo de las etapas fenológicas y productivas del cultivo para proporcionar a las y los productores beneficiarios del programa la adopción de tecnologías que les permitan tener una unidad de producción rentable que mejore su nivel socioeconómico, que promueva el arraigo en sus localidades y que, a la vez, sea piloto para la capacitación de ellos mismos y puedan apropiar nuevas ideas de proyecto productivo. Además se considera que esta técnica de producción es amigable con el medio ambiente y adaptable a superficies variables.

7.1.5.1. Tema 1. Manejo del invernadero

Como objetivo particular se plantea que el productor será capaz, al término de esta sesión, de interpretar la definición y manejo de los invernaderos, conocer los factores críticos ambientales de un ambiente controlado con el propósito de adaptarlos a las posibilidades económicas de cada productor y sus necesidades. Los puntos a tratar son: definición de

invernaderos, orientación del invernadero, características climáticas del municipio, requerimientos de temperatura para el cultivo de tomate, reglas de sanidad y ejercicios prácticos.

7.1.5.2. Tema 2. Tipos de Sustratos para la producción

El objetivo particular se basa en que el participante será capaz, al término de esta sesión, de identificar y elegir los sustratos para la producción de tomates con el propósito de aprovechar los recursos naturales de la zona. Para lograrlo se abordaran los temas: Definición de sustrato, tipos de sustratos, desinfección de sustrato y esterilización de bolsas de polietileno.

7.1.5.3. Tema 3. Producción de plántulas y trasplante

Como objetivo particular se plantea que el productor, al término de esta unidad, deberá tener presente las consideraciones, con las cuales se podrán establecer como un requisito necesario para establecer un almacigo en invernadero con el propósito de lograr plántulas de alta productividad, sanidad y por ende, productos de alta calidad, para lograrlo se abordará los siguientes temas: Selección de semillas, desinfección de sustrato y charolas, siembra de semillas, manejo de charolas sembradas.

7.1.5.4. Tema 4. Labores culturales

El uso de los invernaderos varía tan ampliamente de una región a otra o de un cultivo a otro, que no es posible ofrecer un prototipo de cultivo que sea representativo. Sin embargo, durante la sesión se mencionaran algunas labores culturales importantes para el desarrollo de cultivos en invernadero estas deben aplicarse antes del trasplante y durante el desarrollo del cultivo, a fin de tener una sanidad óptima para prevenir la aparición de plagas y enfermedades que puedan causarnos daños y de esta manera, obtener productos de calidad. El objetivo principal es que el productor sea capaz, al término de esta sesión, de manejar de forma adecuada las distintas labores para el cultivo del tomate bajo invernadero para lograr una producción de

calidad, uniformidad y con alto rendimiento para establecer el cultivo. Los temas a tratar son: Desinfección de invernadero y charolas, el riego, podas y tutoreo.

7.1.5.5. Tema 5. Solución nutritiva y riego

Al finalizar el tema, el productor será capaz de identificar las necesidades hídricas del cultivo así como el manejo de la solución nutritiva. En la agricultura con tecnología de alto impacto es importante tener la certeza de que el manejo agronómico que se le proporciona al cultivo en explotación sea el adecuado, por lo que el suministro de agua y fertilizantes (solución nutritiva) es fundamental para lograr el aseguramiento de que los niveles de productividad sean los más adecuados y por ende, se vea reflejado en los rendimientos. La utilización de un sistema de riego localizado es muy útil, ya que operándolo de manera adecuada se puede aplicar por ese medio la fertilización fraccionada y en algunos casos el manejo fitosanitario se puede hacer por ahí. Los temas a tratar son los siguientes: El sistema de riego, riego localizado, calidad del agua, cultivo con hidroponía, cultivo de plantas sin suelo, ventajas y desventajas de la hidroponía y manejo de la solución nutritiva.

7.1.5.6. Tema 6. Manejo fitosanitario

Como objetivo se plantea que durante la sesión el participante sea capaz de identificar enfermedades del cultivo así como el manejo de productos fitosanitarios para lograrlo se deberá realizar un programa fitosanitario de productos agroquímicos, sobre todo de fungicidas y bactericidas, incluyendo los orgánicos para prevenir infecciones que acarrearían problemas de sanidad al cultivo. Para los cual se abordaran los temas de enfermedades del cultivo del tomate bajo invernadero y productos fitosanitarios, su aplicación y manejo.

7.1.5.7. Tema 7. Cosecha

Al finalizar el tema, las y los productores conocerán los parámetros, para determinar el momento oportuno de cosecha con el fin de alcanzar los estándares de calidad para cada cultivo, Esta actividad es de importancia, ya que de realizarse de manera adecuada en tiempo

y forma dependerá el precio de venta que se logre del producto, debido a que los compradores determinan las condiciones fisiológicas y de presentación del producto. Los temas a tratar son: evaluación y estándares de selección del tomate, horarios de cosecha y sanidad durante la cosecha.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Bajo las condiciones en que se desarrollaron los experimentos y de acuerdo a los resultados obtenidos es posible concluir que:

El mejor sustrato en combinación con la variedad de tomate Sun 7705 fue el aserrín-composta, ya que presentó los mejores resultados en las variables de los dos experimentos, sin embargo, en distintas variables no existen diferencias estadísticas con el tratamiento aserrín. Estos sustratos tuvieron mayor estabilidad, buena capacidad de aireación del sistema radicular, alta porosidad, adecuada retención de agua y de solución nutritiva, así como una estabilidad del pH.

Los sustratos aserrín y la composta son materiales abundantes en la región de estudio y pueden utilizarse con resultados satisfactorios para la producción de plántulas y un buen rendimiento de tomate bajo las condiciones de invernadero tipo túnel de traspatio.

Se determinó que el aserrín y la composta resultan materiales adecuados para producir plántulas de buena calidad, al obtener los mejores resultados cuando se combinaron que cuando se utilizaron en forma independiente con una relación volumétrica 1:1

La mejor combinación de sustratos en los dos experimentos para las variables como altura de planta, grosor del tallo, racimos por planta y producción fue Aserrín-Composta (1:1). Mostrando un equilibrio entre las variables con un rendimiento de 4 Kg/planta en los cinco racimos evaluados, en comparación con el tratamiento Tierra que registro 1.4 Kg/planta.

La mezcla de sustratos orgánicos resultó mejor en todas las variables que el sustrato inorgánico tezontle.

CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES

El Aserrín mezclado con la Composta a un volumen de 1:1 es un buen material para elaborar sustratos alternativos a los tradicionales ya sea para producción de plántulas o en el cultivo del tomate.

El aserrín se puede utilizar solo, lo que representa un costo bajo sin embargo se recomienda hacer investigaciones al utilizarlo mediante mezclas con sustratos como corteza de pino, compostas, bagazo de maguey, arena de río y residuos de cultivos agrícolas.

En futuras investigaciones sería conveniente evaluar los cambios en los parámetros físicos y químicos a través del tiempo en función del rendimiento y calidad del fruto, ya que se podría utilizar en dos ciclos o más. Así como un aumento en las concentraciones de nutrientes de la solución nutritiva evaluando el rendimiento y calidad de fruto.

Otro aspecto a considerar es evaluar las temperaturas de sustratos para la asimilación de calcio

Es necesario evaluar el rendimiento de distintas variedades de tomate con los sustratos aserrín, composta y la mezcla entre estos

CAPÍTULO X. BIBLIOGRAFIA

- Abad, M. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivos. *Actas de Horticultura* (11): 141 – 154 p.
- Abad, M. 1993. Sustratos para el cultivo sin suelo: inventario y características, in: curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz (eds). I.E.A/F.I.A.P.A. Almería, España. 63-80 p.
- Abad, M. 1995. El cultivo del tomate. Sustratos para el cultivo sin suelo. España: Mundi-Prensa, 131-166 p.
- Abad, M. 1997. Sustratos: propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos, inertes y activos. España
- Abad, M. Martínez, M. y Martínez J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta de horticultura* 11: 141-154 p.
- Abad, M. Noguera, M. 2000. Los sustratos en cultivos sin suelo, En manual de cultivos sin suelo. Urrestarazu Gavilan, M. (ed). Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Almería, España 137-182 p.
- Abou, H. El Beltagy, S., El Saied, H. 1988. Soil mixture for tomato transplants. *Egyptian Journal of Horticulture* 15: 23-28 p.
- Acevedo, E. Feres, E. 1993. Resistence to abiotic stresses. In: Hayward, M. D.; Bosemark, N. O. Romagosa, I. (Eds.). *Plant breeding. Principles and prospects*, Champ & Hall, London: 406-421 p.
- Adams, M. 1982. Plant architecture and yield breeding. *Iowa State Journal of Research*. 56 (3): 225-254 p.
- Adams, P. Winsor. W, y Donald, J. 1973. The effects of nitrogen, potasium and subirrigation on the yield, quality and composition of single-truss tomatoes. *J. Hort. Sci.* 48: 123-133 p.
- Adamson, R. Mass, E. 1969. *Procedings world congress on Hydroponics*. Canada departamento of agriculture IWOSC.
- Agudelo B. Casierra-P, F. 2004. Effect of mycorrhizae and hen manure fertilization on yield and quality of onion (*Allium cepa* L. 'YELLOW GRANEX'). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, Jan./June 2004, vol.57, no.1. ISSN 0304-2847, 2190-2204 p.

- AMCI, 2008. Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos, A.C. Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. <http://www.amci.org.mx> (consulta enero 10, 2010).
- AMPHI, 2008. Asociación Mexicana de Productores de Hortalizas en Invernadero.
- Andrade, N. Valenzuela, E. 2002. Aserrín de pino pretratado con cepas fúngicas como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Agro sur, jul. vol.30, no.2. ISSN 0304-8802, 28-34 p.
- Ansorena, J. 1994 Sustratos: propiedades y caracterización ediciones Mundi-Prensa. Almería, España 172 p.
- Antonio, A. Solis, V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad, precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero en Chapingo, México. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 85 p.
- Apolinar S. 2006. Índices fisiotécnicos en la productividad de seis híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en cultivos sin suelo en invernadero. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlan, Oaxaca México. 107 p.
- Ashcroft, W. Gurban, R. Wares, C. and Nick, H. 1993. Arcadia and Goulbum: Determinate fresh market tomatoes for arid production areas. HortiScience 28: (8)854-857 p.
- Asher, C. Edwards, D. 1983. Modern solution culture techniques. En Pirson A, Zimmermand MH (Eds). Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 15-A. 94-119 p.
- Avidan , A; Ziadan, O. y Zachs, Y. 2004. La producción de jitomate en suelos y en sustratos artificiales. Recomendaciones. X curso Internacional de Sistema de Riego. Departamento de irrigación Chapingo. México
- Azcon, B. Talon, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal, Ed. Mc Graw Hill, Madrid, España.
- Baca, A. Lara, A. 2001. Sistemas hidropónicos. In: Nutrición vegetal. G. Alcántar G. (ed.). En prensa.
- Baca, C. 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 172 p.
- Ballester-Olmos, J. 1992. Sustratos para el cultivo de plantas ornamentales. Hojas Divulgadoras (11),

- Bastida, A. 2007. Invernaderos: Fabrica de alimentos Imagen agropecuaria www.imagenagropecuaria.com (consulta enero 10, 2010).
- Bastida T. 2002. Sustratos hidropónicos. Serie de publicaciones agribot. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 31 32 p.
- Bautista, M. Nestor, Alvarado, L. 2006. Producción de jitomate en invernadero Colegio de postgraduados . México 172 p.
- Benítez, V. 1999 Calidad de semilla de jitomate en función de los estados de madurez del fruto y los métodos de extracción. Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 104-105 p.
- Bernabe, A. Solis, V. 1999. Evaluación del rendimiento, calidad y precocidad y vida de anaquel de 21 genotipos de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mili) en invernadero en Chapingo, Tesis de Licenciatura. México. 85 p.
- Bewley, J. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9:1055-1066 p.
- Bowen, J. Kratky, B. 1981. Rendimiento superior trasplantando cepellones. *Hortalizas* 63, Chapingo-Serie Horticultura. 5:5-11 p.
- Brucker, U. 1997. Physical proprieties of different potting media and substrate mixtures *Act Hortic.* 450:263-270 p.
- Bunt, A. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2da ed. London: Unwin Hyman LTD.
- Bures, S. 2002. Introducción a los sustratos: aspectos generales. En tecnología de sustratos aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y frutal. Ediciones de la universidad de Lleida textos correspondientes a cursos de especialización.
- Cabrera, R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo - Serie Horticultura.* 5(1):5-11 p.
- Cadahia, C. 2000. Fertirrigación de cultivos hortícolas. 2a ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Calvert, A. 1957. Effect of the early environment on development of flowerin in tomato. i. temperatura. *J. hort. Sci;* 34:154-162 p.
- Cancino, B. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)En hidroponía bajo invernadero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 90 p.

- Cánovas, F. 1993. Principios Básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. En: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelos. Armería España: I.E.A.- F.I.A.P.A, 29-42 p.
- Castaños, C. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Ed. UACH. Chapingo, México. 38-227 p.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En Nuez, F. El cultivo del tomate. Edit. Mundi-Prensa Barcelona, España. 43-91 p.
- Chapingo, 2008. <http://www.chapingo.mx/iauia/diplomadoinvernadero/presentacion.html> (consulta enero 10, 2010).
- Chen, Y. Chen, F. Stevenson, A. 1986. Soil organic matter interaction with trace elements En: The role of organic matter in modern agriculture. London: Dordrecht. S.L. 73-116 p.
- CNDMG, 1999. Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla. http://emexico.gob.mx/work/EMM_1/Puebla/21000j.htm (consulta enero 10, 2010).
- Cockshull, K. Ho, L. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *Journal of Horticultural Science*, v.70, n.3, p.395-407 p.
- Comisión Nacional de Agua. 2003. Observatorio meteorológico de la ciudad de Puebla. (Informes estadísticos). <http://smn.cna.gob.mx/> (consulta enero 10, 2010).
- Companioni, N. Peña, E. 1997. Influencia del sustrato en el desarrollo de las posturas. En Inédito. Archivo. INIFAT
- Curtis, P. 1996. Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.
- De Boodt, M. Verdonk, O. 1972. The physical properties of the substrates. in horticulture. *Acta de horticulturae* 26:37-44 p.
- De Rijck, G. Schrevens, E. 1997. pH Influenced by the Elemental Composition of Nutrient Solutions. *J. Plant Nutr.*20: 911-923 p.
- De Rijck, G. Schrevens, E. 1999. Application of mixture theory for the optimisation of 481: 205-212 p.
- Delfine. S. Alvino. A, Loreto. F, Centritto, M. y Santarelli, G. 2000. Effects of water stress on the yield and photosynthesis of field-grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L). *Acta Hort.* 537:223-229 p.

- Desai, B. Kotecho, M. y Salunkhe, D. 1997. Seeds handbook. Biology, production, processing and storage. Ed Marcel Dekker. New York, U.S.A. the composition of nutrient solutions for hydroponic cropping: practical use. Acta Hort. 627 p
- Di benedetto, A. Molinari, J. Boschi, R., Klasman, R. y Benedicto, D. 2000. Adaptación de cuatro especies florales anuales a diferentes sustratos de crecimiento. Agrosur, 28(2):69-76 p.
- Esau, K. 1976. Anatomía Vegetal. Primera Edición. Blume Ediciones. Madrid, España 643 p.
- Escalante, G. 1989. Evaluación de cinco variedades de jitomate en hidroponía bajo invernadero rustico. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH, Chapingo, México.
- Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. En: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelos. Armería: I.E.A.- F.I.A.P.A, p. 263-297 p.
- Escurra, L. Pérez, C. 1989. El mineral del siglo: Sus usos agropecuarios. Ciudad Habana: CIDA,
- FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. FAO. Plant Production and Protection. Roma: FAO.
- Fernández, C. 2000. Crecimiento de plántulas de tomate cv. Río grande en bandejas plásticas usando mezclas de compost y aserrín de coco como sustituto de la turba de musgo. Trabajo de ascenso. Facultad de Agronomía, Luz, Maracaibo, Venezuela. (Mimeografiado) 51 p.
- Fernández, F. 1997. Efecto de inóculos comerciales de hongos micorrizógenos arbusculares en el cultivo del arroz (*Oryza sativa*) en distintos tipos de suelos. Cultivos Tropicales 18 (1):5-9 p.
- Fernández, N. Urdaneta, W. Poliszuk, S. y Marín, M. 2007. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv `Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, ISSN 1690-9763, Vol. 23, N°. 2, 2006 , 188-195 p.
- Folquer, F. 1976. El tomate: estudio de la planta y su producción. 2a ed. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina, 104 p.
- Fonseca, A. 2006. Producción de tomate en invernadero. In: Cuarto Simposio Internacional de Producción de cultivos en Invernadero. E Olivares S (ed). UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. 1-8 p.

- Fonteno, W. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: Water, media and nutrition for greenhouse crops. David Wm. Reed (ed). Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA. 93-122 p.
- Free, J. 1970. Insect pollination of crops. Academic Press. London and New York. 349-354 p.
- Gaona, B. Juárez, L. 2005. Evaluación de variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo invernadero en Aquixtla, Puebla. Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 68 p.
- García, C. 2000. Producción de semilla de jitomate en altas densidades de plantación bajo condiciones de invernadero e hidroponía. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 101 p.
- Garza, L. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 4 p.
- Gates, G. 1955. The response of the Young tomato plant to a brief period of wáter shortage 1. The whole plan and its principal parts. Aust, J. Biol.sci;8:196-214 p.
- George, R. 1989. Producción de semillas hortícolas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 173, 213-238 p.
- George, R. 1999. Vegetable seed production. 2nd edition; CABI Publishing. UK at the at the University Press, Cambrige. 328 p
- George, R. Stephens, R. Varis, S. 1980. The effect of mineral nutrients on the yield And quality of seeds in tomato. In: Seed Production. Hebblethwaite, P.D. Ed. Butterworths. London England. 561-567 p.
- Guenkov, G. 1966. Fundamentos de la horticultura cubana. Ediciones ciencia y técnica. Instituto del libro. La Habana, Cuba. 110-130 p.
- Guevara, E. 1999. Germinación. Curso de principios y aplicaciones de la fisiología vegetal. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. Material mimeografiado. 13 p.
- Guzmán, J. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica. 25 p.
- Handreck, K. Black, N. 1991. Growing media for ornamental plants and turf/ South Wales University Press.
- Handreck, K. Black, N. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. 3 ed. UNSW Press. Australia. 542 p.

- Hartmann, H. y Kester, D. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- Ho, L. 1996. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *J. Exp. Bot.* 47:1239-1243 p.
- Ho, L. 2000. Las bases fisiológicas para mejorar la calidad del fruto de tomate. Seminario Internacional: Adaptaciones tecnológicas para la modernización de cultivos forzados. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, 12 y 13 de octubre del 2000. s.p.
- Hochmuth. J, 1995. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312 p.
- Howard, M. 1998. Hydroponic food production. Santa Bárbara, California 520 p.
- Howard, M. Rosh, P, 1993. Cultivos hidropónicos. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 369 p.
- Huerres, P. Caraballo, N. 1988. Horticultura. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 4-16 p.
- Hurd, R. Cooper, J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single-inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45:19-27 p.
- Hurd, R. Price, D. 1977. Root death and mid-crop wilting of tomatoes in nutrient Film. *Hort. Ind.*, January. 8-15. Hurd R. G.; A. J. Gay and A. C.
- INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo de Población y Vivienda 2005, Resultados Definitivos, Puebla.
- Infoagro. 2000. http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/ (consulta enero 10, 2010).
- Jacobo, A. Uexküll, H. 1973. Nutrición y abono de los cultivos tropicales y subtropicales. Cuarta edición. México: Ediciones Ecoamericanas. 626 p.
- Jaramillo, J. Rodríguez, M. Guzmán, A. Zapata, M. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero corpoica c. i. la selva y minagricultura
- Jaimes, A. 1985. Evaluación del aserrín de pino como sustrato hidropónico, Tesis profesional Fitotecnia Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México.
- Jensen, M. Collins, W. 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 7: 483-559 p.
- Johnson, E. 1980. Comparison of methods of analysis for loamless compost. *Acta Horticulture*, 99: 197-204 p.

- Jones, C. 1983. Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 1.208–1.211 p.
- Khan, A. Sagar, G. 1967. The distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production. *Horticultura Research.* 7:61-69 p.
- Kinet, J. 1977. Effect of light condition on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6:15-16 p.
- Labrador, J. Guiberteau, A. López, L. 1993. La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. *Hojas Divulgadoras* 3/93. 43 p.
- Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta horticulturae* 396:273-284 p.
- Lemaire, F. 2005. Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid: ediciones mundi prensa 210 p.
- Lemaire, F. 1997. The problem of the biostability in organic substrates. 450:63-69 p.
- Leperen, W. Volkov, V. Meeteren, U. 2003. Distribution of xylem hydraulic resistance in fruiting truss of tomato influenced by water stress. *Journal of Experimental Botany.* 54(381) 317-324.
- Maas E. Adamson R. 1969. Proceeding world congress on Hydroponics. Canadá Department of Agriculture. IWOCS. Madrid, España. 357-363 p.
- Maroto, B. 2002. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª edición.
- Marrero, L. 1986. Influencia de algunos factores ecológicos sobre el crecimiento y desarrollo del tomate. Ed. SICA. La Habana, Cuba. 13-31 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2a ed. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 889 p.
- Martínez, E. García, S. Reus, L. 1993. Cultivos sin suelos: Hortalizas en clima Mediterráneo.
- Martínez, F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11:55-66 p.
- Mills, A. Pokorny, F. 1978. The effectiveness of nitrapyrin in a organic medium. *Down to earth* 334(2), 26-28 p.
- MINAGRI. 1983. Instructivo Técnico del cultivo de los semilleros. La Habana, Cuba. 47 p.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 P.

- Morel, P; Poncet, L. Riviére, L. 2000. Les supports de cultura horticoles. Les Matériaux Complémentaries Ternatifs a la tourbe. INRA. Paris. 87 p.
- Nelson, P. 1991. Greenhouse operation and manage-ment. 4 ed. Prentice-Hall. Estados Unidos de América. 612 p
- Nelson, P. 1998. Greenhouse operation and mangement. Prentice Hall, New Jersey. 637 p.
- Normann, A. 1993. Substratos hortícolas: Turfa a casca de arroz. Lavoura Arrozeira 46 (409):12-13 p.
- OEIDRUS 2008 Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable, inventario de invernaderos en el estado de puebla http://www.oeidrus-portal.gob.mx/invernaderos/inv_pue/ (consulta enero 10, 2010).
- Ocampo, M. Caballero, M. y Tornero, C. 2005. Los sustratos en cultivos hortícolas y ornamentales. En agricultura, ganadería, ambiente y desarrollo sustentable. Tornero, C. M. A;
- Ortiz. G. 2004. Comparación de la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía y suelo bajo invernadero en Miahuatlan, Puebla Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 70 p.
- Paneque, V. 1998. Abonos Orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación/V.M. Panaque, M. Bertolí. La Habana, Cuba: INCA. 34 p.
- Papaseit, P. Badiola, J. Armaguel, E. 1997. Los plásticos y la agricultura editorial de hortalizas
- Pastor, S. 1977. Agroquímica General. La Habana Cuba: MINED, 126 p.
- Pastor, S. 2000. Utilización de sustratos en viveros. Terra 17 (3): 213-235 p.
- Pérez, G. Castro, B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de Divulgación #3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 58 p.
- Picken, A. Steward, K. Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. In: Atherton J, G.; Rudich, J. (Eds.) The tomato crop. Chapman and Hall Ltd. New York, EUA. 111-165 p.
- Pieter de Rijk. 2008. Evolución del sector de agricultura protegida en México. [http://www.amhpac.org/contenido/plan_consulta:](http://www.amhpac.org/contenido/plan_consulta/) (enero 10, 2010).

- Pinamonti, F. Stingari, G. Zorzi, G. 1997. Use of compost in soilless cultivation. *Compost Science Utilization* 2, 38-106 p.
- Pinske, J. 1998. Planificación, construcción y funcionamiento de invernaderos, editada por libros Cúpula, Barcelona, España.
- Pinto, J. Botrel, T. Machado, E. y Feitosa, F. 2000. The effect of CO₂ applied through irrigation. *Acta Hort.* 537: 267-272 p.
- Ponce, O. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 96 p.
- Puustjärvi, V. 1983. Nature of changes in peat properties during decomposition. *Peat and Plant yearbook*. Helsinki, 1983 p.
- Quesada, G. Méndez, C. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en la elaboración de almácigos de hortalizas. *Revista de Agricultura Tropical* 35. En prensa
- Quiñones, E. 2000. Evaluación de lombricomposta y tezontle como sustrato en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero rústico. Tesis de Maestría en Agroecosistemas Tropicales, Campus Veracruz – Colegio de Postgraduados
- Raviv, M. Peat M. Raviv, Y. Chen, Y. 1986 Inbar and Peat substitutes as growth media for container-grown plants. En: *The role of organic matter in modern Agriculture*. London: Dordrecht S.L. 257-287 p.
- Resh, H. 1985. *Hidroponía* Editores Mundi-prensa Madrid, España
- Resh, H. 1992. *Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Resh, H. 1993. *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción*. Trad. J. Santos Caffarena, José. Ed. Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España. 369 p
- Resh, H. 2001. *Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción*. Traducción al español de C de Juan. 5a. ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Rick, C. 1981. The tomato. *Sci. Amer.* 239: 76-89 p.
- Rodríguez, A. 1995. Manejo del cultivo extensivo para industria. En: *El cultivo del tomate*. Madrid, España: Mundi-Prensa, 255-309 p.

- Rodríguez, N. Cano, P. Figueroa, V. Palomo, G. Favela, C. Vicente de Paul, Á. Márquez, H. Moreno, R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato Revista Fitotecnia Mexicana, año/vol. 31, número 003 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 265-272 p.
- Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, 2001. Cultivo Moderno del Tomate 2ª. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.
- Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, J. 1984. Cultivo moderno del tomate. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Salter, P. 1958. The effect of different water-regimes on the growth of plants under glass. IV. Vegetative growth and fruit development in the tomato. J. Hort. Sci. 33:1-12 p.
- Salunkhe, D. Kadam, S. 1998. Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage, and processing. Marcel Dekker. New York. 721 p.
- Samperio, R. 1997. Hidroponía Básica; el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Ed. Diana, S.A de C.V. México. 153 p.
- Sánchez del C; F. E. Escalante, R. 1983. Hidroponía; principios y métodos de cultivos 2da edición Chapingo, México 168p.
- Sánchez del C; F. E. Escalante, R. 1988. Un sistema de producción de plantas; principios y métodos de cultivo. UACH. Chapingo México. 194 p
- Sánchez, Del C, F.1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 189 p.
- Sandó, N. Soto, R. Casanova, A. 2006. Contribución a la tecnología de cepellones para el cultivo protegido en plántulas de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill) en la provincia de Cienfuegos. Tesis de Maestría Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Santos, C. 2003. Caracterización morfológica y de calidad de 70 genotipos comerciales de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México.
- Sawan, O. Eissa, A. Abou-hadid, A. 1999. The effect of different growing media on cucumber seedling production, fruit yield and quality under greenhouse conditions. Acta Horticulturae, Proc. Intl. Sym. on Greenhouse Management for Better Yield and Quality in Mild Winter Climates 486: 369-378 p.
- Segal, B. 1989. Chemistry: Experiment and Theory. Wiley. Nueva York, EEUU. 1008 p.

- Serrano, Z. 1990. Técnicas de invernadero. España: Sevilla, 644 p.
- Sholto, G. 1987. Hidroponía: como cultivar sin tierra. Cuarta edición. Editorial el Ateneo. Buenos Aires Argentina. 156 p.
- Singh, B. Sainju, U. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. Hort Science 33 (6): 966-971p.
- SIACON 2009. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta.2009. en: www.siea.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html (consulta enero 10, 2010).
- SIAP, 2008. http://reportes.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp?cveCultivo=7 (consulta enero 10, 2010).
- Sion, M, 1979. Evaluación de rendimiento y calidad del fruto en 5 líneas de jitomate. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México
- Sirin, U. Sevgican A. 1999. The effect of pot size and growing media on growth of tomato soilless culture. Acta Horticulturae. Proc. Intl. Sym. on Greenhouse Management for Better Yield and Quality in Mild Win- ter Climates 486: 343-347 p.
- Smith, G. Johnston, C. Cornforth, I. 1983. Comparison of Nutrient Solutions for Growth of Plants in Sand Culture. New Phytol. 94: 537-548 p.
- Steiner, A. 1961. A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. Plant Soil. 15: 134-154 p.
- Steiner, A. 1966 The Influence of theChemical Composition of a NutrientSolution on the Production of Tomato Plant Soil. 17: 189-201 p.
- Steiner, A. 1968. Soilless culture. En Proc.6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy.pp. 324-341 p.
- Steiner, A. 1984. The Universal Nutrient Solution. En Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.. 633-649 p.
- Stevenson, F. Mertens, A. 1986. Anatomía Vegetal. Editorial Limusa 1 a edición, México.
- SUNSEEDS. 2009. Varieties, (on line). www.sunseeds.com (consulta enero 10, 2010).
- Tuzel, Y. Yagmur, B. Gumus, M. 2003. Organic tomato production under greenhouse conditions. Acta Hort (ISHS) 614:775-780 p.
- Unver, I. Atoman, Y. Canga, M. R. Munsuz, N. 1998. Buffering capacities substrate 238: 83-89 p.

- Urbina, S. Baca, Núñez, R. Colinas, L. Tijerina, C. Tirado, T. Juan, L. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K⁺, Ca²⁺ O Mg²⁺ y diferente granulometría Agrocencia num. julio-agosto. 419-429 p.
- Valadéz, L. 1990. Producción de Hortalizas. Ed. Limusa. México. 248 p.
- Verde, G. Álvarez, M. 1994. Fenología en el cultivar C - 28 y la forma silvestre Nagcarlan en siembras fuera de épocas. BNC. IDIT. La Habana, Cuba.
- Vergara, S, 1992. Efecto de variaciones en la solución nutritiva sobre rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) En: La investigación edafológica en México 1991-1992. Memorias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Tovar J. L y R. Quintero. Ed. Guerrero. México. 138 p.
- Villareal, R. 1982. Tomates. Traducido del inglés por E. Camacho. Instituto Interamericano de Cooperacion para la agricultura. San José. Costa Rica. 9-21 p.
- Viser, S. 1986. Effects of humic substances on plant growth. En: Humic Substances, effects on soil and plants. Roma: REDAC, 89-135 p.
- Warncke, D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extract method. HortScience 21: 223-225 p.
- Wereing, P. Patrick, J. 1975. Source-sink relations and partition of assimilates. In J. P. Cooper Celd, photosynthesis and productivity in differents environments. Cambridge Univ. Press. 481-499 p.
- Wien, H. 1997. The pysiology of vegetable crops. CAB International, London, UK. 651 p.
- Zarate, B. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) hidropónico con sustratos, bajo invernadero, tesis de maestría. C.I.D.I.R. Oaxaca, México.
- Zuang, H. Musard, M. 1986. Cultures legumieres sur substrats. Instalation et conduite. Centre technique interprofessionnel des fruits et legumes, Francia 276 p.

ANEXOS

Cuadro 5.1 Análisis de varianza para el porcentaje de germinación

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | | |
|-------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tierra | 60.0 | | | | | | |
| Tie-Tez | 60.5 | | | | | | |
| Tezontle | | 71.5 | | | | | |
| Ase-tez | | | 75.5 | | | | |
| Ase-Tie | | | 75.7 | | | | |
| Com-Tez | | | | 79.5 | | | |
| Com-Tie | | | | 82.0 | 82.0 | | |
| Ase-Com | | | | | 85.2 | | |
| Composta | | | | | | 90.2 | |
| Aserrin | | | | | | | 96.7 |
| Sig. | 1.00 | 1.00 | 1.00 | .36 | .095 | 1.00 | 1.00 |

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000. Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.2 Análisis de varianza para los días a emergencia

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | |
|-------------|-----------------------------|------|
| | 1 | 2 |
| Aserrín | 2.00 | |
| Composta | 3.00 | 3.00 |
| Tezontle | 3.00 | 3.00 |
| Ase-Com | 3.00 | 3.00 |
| Ase-Tie | 3.00 | 3.00 |
| Ase-tez | 3.00 | 3.00 |
| Com-Tie | 3.00 | 3.00 |
| Com-Tez | 3.00 | 3.00 |
| Tierra | | 4.00 |
| Tie-Tez | | 4.00 |
| Sig. | .769 | .769 |

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000. Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.3 Análisis de varianza para la Altura 25 días después de la siembra

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | |
|-------------|-----------------------------|--------|
| | 2 | 1 |
| Com-Tez | 8.500 | |
| Tie-Tez | 8.500 | |
| Tierra | 9.000 | |
| Tezontle | 9.000 | |
| Ase-Tie | 10.000 | |
| Ase-tez | 10.000 | |
| Com-Tie | 10.000 | |
| Composta | | 13.000 |
| Ase-Com | | 13.000 |
| Aserrin | | 13.500 |
| Sig. | .528 | .999 |

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000. Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.4 Análisis de varianza para el Número de hojas 25 días después de la siembra

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | |
|-------------|-----------------------------|------|
| | 2 | 1 |
| Tierra | 5.25 | |
| Tezontle | 6.25 | 6.25 |
| Ase-tez | 6.25 | 6.25 |
| Com-Tez | 6.25 | 6.25 |
| Tie-Tez | 6.25 | 6.25 |
| Ase-Com | 7.25 | 7.25 |
| Ase-Tie | 7.25 | 7.25 |
| Com-Tie | 7.25 | 7.25 |
| Aserrin | 8.25 | 8.25 |
| Composta | | 9.25 |
| Sig. | .055 | .055 |

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000. Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Anexo 2 Experimento 2

Cuadro 5.5 Análisis de varianza para la altura de planta

| Días Después del trasplante | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------------------|--------------|-------------------|----|------------------|----------|------|
| 25 | Inter-grupos | 21.900 | 9 | 2.433 | 2.755 | .018 |
| | Intra-grupos | 26.500 | 30 | .883 | | |
| | Total | 48.400 | 39 | | | |
| 50 | Inter-grupos | 3694.100 | 9 | 410.456 | 78.431 | .000 |
| | Intra-grupos | 157.000 | 30 | 5.233 | | |
| | Total | 3851.100 | 39 | | | |
| 75 | Inter-grupos | 6589.500 | 9 | 732.167 | 99.841 | .000 |
| | Intra-grupos | 220.000 | 30 | 7.333 | | |
| | Total | 6809.500 | 39 | | | |
| 100 | Inter-grupos | 48667.025 | 9 | 5407.447 | 1152.564 | .000 |
| | Intra-grupos | 140.750 | 30 | 4.692 | | |
| | Total | 48807.775 | 39 | | | |
| 125 | Inter-grupos | 49079.600 | 9 | 5453.289 | 39.237 | .000 |
| | Intra-grupos | 4169.500 | 30 | 138.983 | | |
| | Total | 53249.100 | 39 | | | |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.6 Análisis de varianza para la altura 25 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | |
|-------------|-----------------------------|-------|
| | 1 | 2 |
| Tierra | 42.75 | |
| Composta | 43.75 | 43.75 |
| Tezontle | 44.00 | 44.00 |
| Tie-Tez | 44.00 | 44.00 |
| Aserrin | 44.25 | 44.25 |
| Ase-tez | 44.25 | 44.25 |
| Com-Tie | 44.50 | 44.50 |
| Ase-Com | 44.75 | 44.75 |
| Com-Tez | | 45.25 |
| Ase-Tie | | 45.50 |
| Sig. | .120 | .246 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.7. Análisis de varianza para la altura 50 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Com-Tie | 108.00 | | | |
| Tie-Tez | 108.00 | | | |
| Com-Tez | 109.50 | | | |
| Tierra | 110.25 | | | |
| Composta | 111.00 | | | |
| Ase-tez | | 119.75 | | |
| Tezontle | | 120.75 | | |
| Aserrin | | 124.00 | 124.00 | |
| Ase-Tie | | | 126.75 | |
| Ase-Com | | | | 138.50 |
| Sig. | .697 | .249 | .787 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.8. Análisis de varianza para la altura 75 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tie-Tez | 239.25 | | | | | | |
| Tierra | 242.75 | 242.75 | | | | | |
| Com-Tie | | 247.00 | 247.00 | | | | |
| Ase-Tie | | 249.25 | 249.25 | | | | |
| Tezontle | | | 250.75 | | | | |
| Ase-tez | | | 251.25 | 251.25 | | | |
| Composta | | | | 257.75 | 257.75 | | |
| Com-Tez | | | | | 258.75 | | |
| Aserrin | | | | | | 272.75 | |
| Ase-Com | | | | | | | 283.00 |
| Sig. | .713 | .052 | .466 | .052 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Cuadro 5.9 Análisis de varianza para la altura 100 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Com-Tez | 298.25 | | | | | |
| Com-Tie | 299.25 | 299.25 | | | | |
| Tie-Tez | 300.25 | 300.25 | | | | |
| Ase-Tie | 302.00 | 302.00 | | | | |
| Tierra | 302.50 | 302.50 | | | | |
| Ase-tez | | 304.25 | | | | |
| Composta | | | 314.00 | | | |
| Tezontle | | | | 336.25 | | |
| Aserrin | | | | | 380.50 | |
| Ase-Com | | | | | | 398.50 |
| Sig. | .191 | .070 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.10 Análisis de varianza para la altura 125 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tierra | 345.00 | | | |
| Tie-Tez | 356.25 | 356.25 | | |
| Com-Tie | 370.00 | 370.00 | 370.00 | |
| Tezontle | 372.50 | 372.50 | 372.50 | |
| Ase-Tie | | 375.00 | 375.00 | |
| Composta | | 380.00 | 380.00 | |
| Ase-tez | | 380.00 | 380.00 | |
| Com-Tez | | | 397.50 | |
| Aserrin | | | | 445.25 |
| Ase-Com | | | | 460.00 |
| Sig. | .065 | .165 | .065 | .748 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.11 Análisis de varianza para diámetro de tallo

| Días Después del trasplante | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------------------|--------------|-------------------|----|------------------|---------|------|
| 25 | Inter-grupos | .122 | 9 | .014 | 2.433 | .033 |
| | Intra-grupos | .168 | 30 | .006 | | |
| | Total | .290 | 39 | | | |
| 50 | Inter-grupos | .850 | 9 | .094 | 15.116 | .000 |
| | Intra-grupos | .188 | 30 | .006 | | |
| | Total | 1.038 | 39 | | | |
| 75 | Inter-grupos | 2.426 | 9 | .270 | 124.410 | .000 |
| | Intra-grupos | .065 | 30 | .002 | | |
| | Total | 2.491 | 39 | | | |
| 100 | Inter-grupos | 3.204 | 9 | .356 | 433 | .000 |
| | Intra-grupos | .000 | 30 | .000 | | |
| | Total | 3.204 | 39 | | | |
| 125 | Inter-grupos | 4.429 | 9 | .492 | 134.212 | .000 |
| | Intra-grupos | .110 | 30 | .004 | | |
| | Total | 4.539 | 39 | | | |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.12. Análisis de varianza del diámetro de tallo 25 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | |
|-------------|-----------------------------|-------|
| | 1 | 2 |
| Com-Tez | 0.425 | |
| Ase-Com | 0.475 | 0.475 |
| Composta | 0.5 | 0.5 |
| Ase-tez | 0.5 | 0.5 |
| Tierra | 0.525 | 0.525 |
| Ase-Tie | 0.525 | 0.525 |
| Com-Tie | 0.525 | 0.525 |
| Tezontle | 0.55 | 0.55 |
| Tie-Tez | 0.55 | 0.55 |
| Aserrin | | 0.65 |
| Sig. | 0.38 | 0.063 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.13 Análisis de varianza del diámetro del tallo 50 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ase-Tie | .8250 | | | | |
| Tierra | .9000 | .9000 | | | |
| Com-Tez | .9000 | .9000 | | | |
| Ase-tez | .9250 | .9250 | .9250 | | |
| Tezontle | .9750 | .9750 | .9750 | | |
| Tie-Tez | .9750 | .9750 | .9750 | | |
| Com-Tie | | 1.0500 | 1.0500 | 1.0500 | |
| Composta | | | 1.1000 | 1.1000 | |
| Aserrin | | | | 1.2000 | 1.2000 |
| Ase-Com | | | | | 1.3250 |
| Sig. | .225 | .225 | .093 | .225 | .456 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.14 Análisis de varianza del diámetro del tallo 75 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ase-Tie | .9000 | | | | | |
| Tierra | .9250 | .9250 | | | | |
| Com-Tie | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | | | |
| Tezontle | | 1.0250 | 1.0250 | | | |
| Ase-tez | | 1.0250 | 1.0250 | | | |
| Tie-Tez | | 1.0250 | 1.0250 | | | |
| Com-Tez | | | 1.0500 | | | |
| Composta | | | | 1.2500 | | |
| Aserrin | | | | | 1.4250 | |
| Ase-Com | | | | | | 1.7250 |
| Sig. | .113 | .113 | .874 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Cuadro. Análisis de varianza 100 días después del trasplante

Cuadro 5.15 Análisis de varianza del diámetro del tallo 100 días después del trasplante

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tierra | 1.0000 | | | | |
| Ase-Tie | 1.0000 | | | | |
| Com-Tie | 1.0000 | | | | |
| Tezontle | | 1.1000 | | | |
| Ase-tez | | 1.1000 | | | |
| Com-Tez | | 1.1000 | | | |
| Tie-Tez | | 1.1000 | | | |
| Composta | | | 1.4000 | | |
| Aserrin | | | | 1.7000 | |
| Ase-Com | | | | | 1.8000 |
| Sig. | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.16 Análisis de varianza del diámetro del tallo 125 días después del trasplante

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|---|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ase-Tie | 4 | 1.1750 | | | | | |
| Com-Tie | 4 | 1.1750 | | | | | |
| Tie-Tez | 4 | 1.1750 | | | | | |
| Tierra | 4 | 1.2500 | 1.2500 | | | | |
| Com-Tez | 4 | 1.2500 | 1.2500 | | | | |
| Ase-tez | 4 | | 1.3250 | 1.3250 | | | |
| Tezontle | 4 | | | 1.4000 | | | |
| Composta | 4 | | | | 1.7500 | | |
| Aserrin | 4 | | | | | 1.9000 | |
| Ase-Com | 4 | | | | | | 2.1500 |
| Sig. | | .758 | .758 | .758 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.17 Análisis de varianza para variables experimento 2

| Variable | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------------------------|--------------|-------------------|----|------------------|---------|------|
| Flores | Inter-grupos | 867.500 | 9 | 96.389 | 34.221 | .000 |
| | Intra-grupos | 84.500 | 30 | 2.817 | | |
| | Total | 952.000 | 39 | | | |
| Frutos por racimo | Inter-grupos | 42.125 | 9 | 4.681 | 6.934 | .000 |
| | Intra-grupos | 20.250 | 30 | .675 | | |
| | Total | 62.375 | 39 | | | |
| Tamaño | Inter-grupos | 62.156 | 9 | 6.906 | 17.356 | .000 |
| | Intra-grupos | 11.938 | 30 | .398 | | |
| | Total | 74.094 | 39 | | | |
| Anchura | Inter-grupos | 28.236 | 9 | 3.137 | 131.636 | .000 |
| | Intra-grupos | .715 | 30 | .024 | | |
| | Total | 28.951 | 39 | | | |
| Peso | Inter-grupos | 16741.900 | 9 | 1860.211 | 246.931 | .000 |
| | Intra-grupos | 226.000 | 30 | 7.533 | | |
| | Total | 16967.900 | 39 | | | |
| Rendimiento por m ² | Inter-grupos | 868.103 | 9 | 96.456 | 30.046 | .000 |
| | Intra-grupos | 96.307 | 30 | 3.210 | | |
| | Total | 964.410 | 39 | | | |
| Rendimiento por planta | Inter-grupos | 21.236 | 9 | 2.360 | 112.809 | .000 |
| | Intra-grupos | .628 | 30 | .021 | | |
| | Total | 21.864 | 39 | | | |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.18. Prueba de Tukey del número de flores

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | |
|-------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tierra | 8.0000 | | | |
| Ase-tez | 9.2500 | | | |
| Com-Tie | 9.5000 | 9.5000 | | |
| Ase-Tie | 11.0000 | 11.0000 | | |
| Tie-Tez | 11.5000 | 11.5000 | | |
| Tezontle | 12.0000 | 12.0000 | | |
| Com-Tez | | 13.5000 | 13.5000 | |
| Composta | | | 17.5000 | 17.5000 |
| Aserrin | | | | 21.2500 |
| Ase-Com | | | | 21.5000 |
| Sig. | .055 | .055 | .055 | .055 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.19 Prueba de Tukey para frutos por racimo

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tierra | 5.7500 | | | |
| Tezontle | 5.7500 | | | |
| Composta | 6.0000 | 6.0000 | | |
| Com-Tez | 6.0000 | 6.0000 | | |
| Com-Tie | 6.5000 | 6.5000 | 6.5000 | |
| Ase-tez | 6.7500 | 6.7500 | 6.7500 | |
| Tie-Tez | 7.2500 | 7.2500 | 7.2500 | 7.2500 |
| Ase-Com | | 7.7500 | 7.7500 | 7.7500 |
| Ase-Tie | | | 8.2500 | 8.2500 |
| Aserrin | | | | 8.7500 |
| Sig. | .269 | .119 | .119 | .269 |

Cuadro 5.20 Prueba de Tukey del tamaño de fruto

| Tratamiento | N | Subconjunto para alfa = .05 | | |
|-------------|---|-----------------------------|--------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Com-Tie | 4 | 6.7500 | | |
| Tierra | 4 | 7.6250 | | |
| Com-Tez | 4 | 7.6250 | | |
| Ase-Tie | 4 | 7.7500 | | |
| Tie-Tez | 4 | 7.8750 | | |
| Ase-tez | 4 | 8.1250 | 8.1250 | |
| Composta | 4 | 8.2500 | 8.2500 | |
| Tezontle | 4 | | 9.5000 | |
| Aserrin | 4 | | 9.6250 | |
| Ase-Com | 4 | | | 11.2500 |
| Sig. | | .056 | .056 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.21 Prueba de Tukey para anchura de fruto

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tie-Tez | 3.5500 | | | | | |
| Ase-Tie | 3.5750 | | | | | |
| Tierra | 3.6750 | 3.6750 | | | | |
| Com-Tez | 3.8500 | 3.8500 | | | | |
| Com-Tie | | 4.0250 | 4.0250 | | | |
| Ase-tez | | | 4.3000 | | | |
| Tezontle | | | 4.3250 | | | |
| Composta | | | | 4.9500 | | |
| Aserrin | | | | | 5.3250 | |
| Ase-Com | | | | | | 6.2750 |
| Sig. | .200 | .079 | .200 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.22 Prueba de Tukey de peso de fruto

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tierra | 42.5000 | | | | | |
| Ase-Tie | 47.7500 | 47.7500 | | | | |
| Tie-Tez | | 50.0000 | | | | |
| Com-Tez | | | 71.7500 | | | |
| Com-Tie | | | 72.7500 | | | |
| Ase-tez | | | 74.5000 | | | |
| Tezontle | | | 76.5000 | | | |
| Composta | | | | 90.0000 | | |
| Aserrin | | | | | 97.0000 | |
| Ase-Com | | | | | | 107.7500 |
| Sig. | .217 | .973 | .335 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Cuadro 5.23 Prueba de Tukey de kilogramos por metro cuadrado

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | |
|-------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tierra | 7.3375 | | | | |
| Tie-Tez | 10.8500 | 10.8500 | | | |
| Ase-Tie | | 11.7500 | | | |
| Com-Tez | | 12.9000 | 12.9000 | | |
| Tezontle | | 13.1650 | 13.1650 | | |
| Com-Tie | | 14.1500 | 14.1500 | | |
| Ase-tez | | 15.0500 | 15.0500 | | |
| Composta | | | 16.2000 | 16.2000 | |
| Aserrin | | | | 19.6500 | |
| Ase-Com | | | | | 25.0250 |
| Sig. | .191 | .062 | .259 | .210 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Cuadro 5.24 Prueba de Tukey de kilogramos por planta

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tierra | 1.3500 | | | | | |
| Tie-Tez | | 1.7500 | | | | |
| Ase-Tie | | 1.8000 | | | | |
| Com-Tie | | | 2.1750 | | | |
| Com-Tez | | | 2.2750 | | | |
| Ase-tez | | | 2.3000 | | | |
| Tezontle | | | 2.4250 | | | |
| Composta | | | | 2.8250 | | |
| Aserrin | | | | | 3.2750 | |
| Ase-Com | | | | | | 3.9500 |
| Sig. | 1.000 | 1.000 | .337 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Cuadro 5.25 Prueba de Tukey de frutos por racimo

| Tratamiento | Subconjunto para alfa = .05 | | |
|-------------|-----------------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Tierra | 5.750 | | |
| Composta | 6.000 | 6.000 | |
| Com-Tez | 6.000 | 6.000 | |
| Tezontle | 6.500 | 6.500 | |
| Com-Tie | 6.500 | 6.500 | |
| Ase-Tie | 6.750 | 6.750 | |
| Ase-tez | 6.750 | 6.750 | |
| Tie-Tez | 7.250 | 7.250 | 7.250 |
| Ase-Com | | 7.750 | 7.750 |
| Aserrin | | | 8.750 |
| Sig. | .162 | .059 | .162 |

Fuente: Elaboración propia con información de campo

Anexo 3.

Cuadro 5.26 Análisis de agua

| pH | CE | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NO ₃ ^{-**} | SO ₄ ^{2-***} | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | RAS | PSI |
|-----|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------|------|
| | mmhos/cm (dSm ⁻¹) | meq/L (cmoles+L ⁻¹) | | | | meq/L (cmoles+L ⁻¹) | | | | | | |
| 7.8 | 0.15 | 0.34 | 0.75 | 0.08 | t | t | 0.02 | 0.63 | 0.34 | 0.18 | 0.26 | 0.00 |

Fuente: Colegio de postgraduados laboratorio de hidrociencias