



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTA DE INGENIERIA  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA DE INVERNADEROS

PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) EN SUELO  
MEZCLADO CON YESO Y EN UN SUSTRATO DE TEZONTLE MEJORADO,  
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE INVERNADEROS

PRESENTA:

ING. ALAN MAULEÓN AGUILERA

DIRIGIDO POR:

DR. EUSEBIO JR. VENTURA RAMOS

SINODALES

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos  
Presidente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Secretario

Dr. Irineo Torres Pacheco  
Vocal

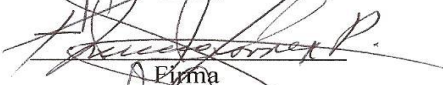
Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez  
Suplente

Dr. Enrique Rico García  
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad de Ingeniería

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dr. Luis G. Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
El Marqués, Qro. Agosto 2010  
México



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO  
FACULTAD DE INGENIERIA

PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum*, Mill.)  
EN SUELO MEZCLADO CON YESO Y EN UN SUSTRATO DE  
TEZONTLE MEJORADO, BAJO CONDICIONES DE  
INVERNADERO.

**TESIS**

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE

**ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE INVERNADEROS**

PRESENTA:

**ALAN MAULEÓN AGUILERA**

AMAZCALA, EL MARQUÉS, QRO. AGOSTO, 2010

## RESUMEN

El presente estudio se realizó con el propósito de evaluar la producción en jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) en un sustrato de tezontle negro mejorado mediante cribado y adición de un 50% de vermicomposta, y cultivado directamente en suelo con (500 g/m<sup>2</sup>) y sin adición de yeso, bajo condiciones de invernadero. Para los diferentes medios de crecimiento se estimó el porcentaje de humedad, la densidad aparente, densidad de partícula, porosidad y capacidad de campo. Los parámetros medidos de la planta fueron la altura, longitud de hoja, diámetro de tallo, niveles de clorofila, y rendimiento. Se realizó una evaluación económica de los sistemas de producción mediante la relación beneficio/costo (B/C). Tanto la altura de la planta como la longitud de la hoja, el diámetro de tallo y el nivel de clorofila fueron estadísticamente mayores para el cultivo de jitomate en suelo con o sin yeso con respecto al cultivo en sustrato de tezontle negro y vermicomposta, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Como consecuencia de un mayor vigor de la planta, el rendimiento del jitomate cultivado en suelo más yeso produjo un mayor rendimiento (5.32 kg planta<sup>-1</sup>), seguido por el suelo sin yeso con 5.21 kg planta<sup>-1</sup> y finalmente la vermicomposta mezclada con tezontle con 2.95 kg planta<sup>-1</sup>. La eficiencia en el uso del agua para el tratamiento de suelo más yeso fue de 27.31 Kg de fruta/m<sup>3</sup> de agua, seguido por suelo sin yeso con 27.18 Kg de fruta/m<sup>3</sup> de agua y por último la mezcla de vermicomposta con tezontle, con 23.62 Kg de fruta /m<sup>3</sup> de agua. La Relación B/C en la producción directa en suelo con y sin yeso se mantuvo en un punto de equilibrio, ligeramente por encima de la unidad, a diferencia de la producción en mezcla de vermicomposta con tezontle, donde se perdieron 66 centavos por cada peso invertido.

**(Palabras clave:** Sustrato, vermicomposta, tezontle, suelo, yeso, jitomate, invernaderos).

## SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) production in *tezontle* (volcanic scoria) sieved and improved with the addition of 50% vermicomposta, and directly in soil with (500 g/m<sup>2</sup>) and without gypsum, under greenhouse conditions. Percent moisture, bulk density, particle density, porosity and field capacity were determined for the different growing media. Measured plant parameters included plant height, leaf length, stem diameter, chlorophyll level, and yield. An economic evaluation of the production systems using the cost/benefit ratio (C/B) was performed. Plant parameters were statistically greater for the tomato plants grown directly in soil, with or without gypsum, as compared to plants grown in the mix of black *tezontle* and vermicompost, according to the Tukey ( $\alpha=0.05$ ) mean comparison test. As a consequence of a greater plant vigor, tomato yield cultivated in soil with gypsum produced a greater yield (5.32 kg planta<sup>-1</sup>), followed by the soil without gypsum treatment with 5.21 kg planta<sup>-1</sup> and finally by the *tezontle* mixed with vermicompost with 2.95 kg planta<sup>-1</sup>. Water use efficiency for the soil and gypsum treatment was 27.31 Kg of produce/m<sup>3</sup> of water, followed by soil without gypsum with 27.18 Kg of produce/m<sup>3</sup> of water and finally by the mix of black *tezontle* and vermicompost, with 23.62 Kg of produce/m<sup>3</sup> of water. The C/B ratio for the production in soil with and without gypsum was kept at equilibrium, slightly above the unit, in contrast with the production in *tezontle* and vermicompost, where 66 cents were lost for every peso invested.

**(Key words:** Growing media, vermicompost, *tezontle*, soil, gypsum, tomato, greenhouse).

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Por darme la vida y brindarme salud, sabiduría, perseverancia e inteligencia.

**A MI MADRE:** Por apoyarme incondicionalmente en mi educación, económicamente y moralmente.

**A MI ESPOSA:** Alma Gabriela por su comprensión y darme una hija tan hermosa.

**A MIS HERMANOS:** Jerson y Samir esperando que le sirva como estímulo de superación.

**A MI ABUELA:** Esther por cuidarme y apoyarme moralmente en cierta etapa de mi niñez.

**A MI TIA:** Cecilia por ayudarme en mis tareas de la primaria y su apoyo incondicional.

**A MIS AMIGOS:** De Veracruz a Isaías, Mario, David, José Manuel, Sergio y Carlos por todos esos momentos felices que hemos pasados juntos desde la infancia. En Chiapas a Jaime por sus consejos y su apoyo moral.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, por darme los conocimientos y herramientas necesaria en el manejo de cultivos en invernadero.

Al CONACYT por otorgarme una beca, la cual me permitió culminar mis estudios en invernadero.

Al Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos por su confianza y apoyarme en la elaboración de mi tesis.

Al Dr. Irineo Torres Pacheco por ser una persona comprensiva y su gran aporte de conocimientos y experiencias.

Al Ing. Adán Luna Mercado por ser una persona humilde y sus consejos en el ámbito de invernadero.

A mis maestros por trasmitirme sus conocimientos y herramientas necesarias en mis estudios.

Vanesa Salinas Valencia por su amistad, confianza y su buen desempeño en su trabajo encomendado.

A mis amigos y compañeros de la Especialidad en Invernadero por su apoyo incondicional, en especial a Gerardo y Patricia por colaborar en mi trabajo de tesis.

A todas aquellas personas que participaron y contribuyeron en la culminación de mi Especialidad de Invernadero.

## INDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Elección del sustrato	3
2.2. Caracterización de sustratos	4
2.2.1. Características físicas	4
2.2.2. Características químicas	7
2.3. Principales sustratos hortícolas y sus características	9
2.3.1. Arena	9
2.3.2. Perlita	9
2.3.3. Lana de roca	10
2.3.4. Fibra de coco	10
2.3.5. Tezontle	11
2.4. Problemática de los sustratos	11
2.5. Principales enmiendas utilizada en horticultura	12
2.5.1. Yeso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	12
2.5.2. Azufre	13
2.5.3. Cal agrícola o calcita	13
2.5.4. Materia orgánica	14
III. OBJETIVOS	17
3.1. Objetivo general	17
3.2. Objetivos específicos	17
IV. HIPÓTESIS	17
V. MATERIALES Y METODOS	18
5.1. Área de estudio	18

<b>5.2. Infraestructura, materiales e insumos</b>	<b>19</b>
<b>5.2.1. Invernadero, contenedores, fertilizante y pesticidas</b>	<b>19</b>
<b>5.2.2. Material vegetal</b>	<b>20</b>
<b>5.3. Manejo del cultivo</b>	<b>20</b>
<b>5.3.1. Producción de plántula, trasplante y distribución de plantas</b>	<b>20</b>
<b>5.3.2. Entutorado y poda de brotes</b>	<b>21</b>
<b>5.3.3. Poda de hojas</b>	<b>21</b>
<b>5.3.4. Riego</b>	<b>22</b>
<b>5.3.5. Control fitosanitario</b>	<b>22</b>
<b>5.3.6. Fertilización</b>	<b>23</b>
<b>5.3.7. Cosecha</b>	<b>23</b>
<b>5.4. Análisis estadístico</b>	<b>23</b>
<b>5.4.1. Tratamientos y Diseño experimental</b>	<b>23</b>
<b>5.5. Variables evaluadas</b>	<b>25</b>
<b>5.5.1. Evaluación de las propiedades del sustrato</b>	<b>25</b>
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>32</b>
<b>6.1. Caracterización física de tezontle negro y rojo para su elección</b>	<b>32</b>
<b>6.2. Características físicas del tezontle negro mezclado con vermicomposta en diferentes proporciones para su elección</b>	<b>32</b>
<b>6.3. Altura de planta</b>	<b>32</b>
<b>6.4. Longitud de hoja</b>	<b>33</b>
<b>6.5. Diámetro de tallo</b>	<b>34</b>
<b>6.6. Nivel de clorofila (SPAD)</b>	<b>35</b>
<b>6.7. Rendimiento</b>	<b>36</b>
<b>6.8. Uso eficiente de agua (EUA)</b>	<b>38</b>
<b>6.9. Relación beneficio/costo (R B/C)</b>	<b>38</b>
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	<b>44</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>48</b>



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de jitomate bajo invernadero (Jaramillo <i>et al.</i> , 2007)	22
<b>Cuadro 2.</b>	Tratamientos a evaluar y dosis de cada uno	23
<b>Cuadro 3.</b>	Características físicas del tezontle negro mezclado con vermicomposta	32
<b>Cuadro 4.</b>	Sistema de producción suelo más yeso	39
<b>Cuadro 5.</b>	Sistema de producción suelo (testigo)	40
<b>Cuadro 6.</b>	Sistema de producción vermicomposta y tezontle	41

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación geográfica del área de estudio, en Amazcala, Mpio. de El Marqués, Qro.	18
<b>Figura 2.</b>	Invernadero tipo capilla a doble capa con cubierta de polietileno	19
<b>Figura 3.</b>	Variedad Loreto de jitomate saladette de crecimiento indeterminado.	20
<b>Figura 4.</b>	Trasplante de jitomate en maceta y directo en suelo.	21
<b>Figura 5.</b>	Mezcla de yeso con suelo a una profundidad de 30 cm.	24
<b>Figura 6.</b>	Mezcla de vermicomposta con tezontle negro en la misma proporción.	24
<b>Figura 7.</b>	Llenado con muestra seca del cilindro y peso del cilindro con la muestra.	26
<b>Figura 8.</b>	Procedimiento para conocer densidad real de tezontle.	27
<b>Figura 9.</b>	Procedimiento para conocer la capacidad de campo en tezontle.	28
<b>Figura 10.</b>	Medición de la altura con flexómetro en planta de jitomate.	29
<b>Figura 11.</b>	Medición de diámetro de tallo con vernier digital en planta de jitomate.	29
<b>Figura 12.</b>	Medición de clorofila con el equipo Minolta SPAD 502 Chlorophyll meter.	30
<b>Figura 13.</b>	Altura de planta de jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	33
<b>Figura 14.</b>	Efecto de tratamientos en la longitud de hoja en jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	34
<b>Figura 15.</b>	Efecto de tratamientos en el diámetro de tallo en jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	35

<b>Figura 16.</b> Niveles de clorofila en los tratamientos en jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	36
<b>Figura 17.</b> Efecto de tratamientos en el rendimiento de jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	37
<b>Figura 18.</b> Fluctuación del rendimiento de jitomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).	37

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a proyecciones de la FAO (2009), la población mundial crecerá de 6,500 millones de personas a 8,000 millones en 2025, lo que causará que 1,800 millones se enfrenten a una escasez de agua, por un lado; mientras que por el otro, la población creciente demandará más alimentos, con lo que la presión sobre el sector agrícola será cada vez mayor.

Considerando que la agricultura utiliza casi 70% de la cantidad total extraída de lagos, cursos de agua y acuíferos, y que esta cantidad aumentará 14% en los próximos treinta años, el uso de métodos alternativos de mayor producción con ahorro de agua es cada vez más necesario.

La producción de cultivos bajo invernadero es una opción que ha tomado auge en los últimos años (Velasco, 2006). Sin embargo, los altos costos de los insumos para la producción, entre ellos los fertilizantes, han disminuido el margen de ganancia y limitado su adaptación masiva.

La producción del cultivo de jitomate es muy común bajo invernaderos en diferentes regiones de México (Bautista *et al.*, 2006). Tradicionalmente, el uso de sustratos inertes se ha venido implantando en la producción de este cultivo con rendimientos aceptables (Ojodeagua *et al.*, 2008). Sin embargo, debido a las características de estos materiales de soporte y la frecuencia de los riegos, existen pérdidas importantes de agua y nutrientes por efecto del drenaje, por lo que deben de ser mejorados si estos problemas se quieren reducir.

La producción directamente en los suelos de los invernaderos es otra alternativa de producción. Entre las ventajas del cultivo en suelo se pueden mencionar: amortiguar interrupciones temporales de agua y nutrientes, sin afectar seriamente su desarrollo, e incrementar la eficiencia en el uso de nutrientes y agua, comparado con el uso de sustratos que requieren de 20 a 30 % más de riego para evitar acumulaciones de sales en el medio de cultivo, lo que significa pérdida de

agua y nutrimentos. Aunque una desventaja importante del cultivo en suelo es la presencia de enfermedades, debido a que el agricultor repite año tras año los mismos cultivos en el mismo terreno.

Aun así, la producción directa en suelo puede ser viable si se maneja de la forma más adecuada mediante la adición de mejoradores.

En consideración a la problemática mencionada anteriormente, el objetivo del presente estudio es el de evaluar dos alternativas de producción de jitomate bajo condiciones de invernadero para un uso eficiente del agua y nutrientes. El primer método consiste en mejorar las propiedades físicas de un sustrato de uso común (tezontle) mediante cribado y adición de vermicomposta; mientras que el segundo método considera la producción de tomate directamente en suelo con aplicación de yeso agrícola como mejorador.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Elección del sustrato

La elección de un sustrato se realiza con base a: a) el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas. b) ensayos de evaluación agronómicas c) costos de adquisición (Castellanos, 2009) d) disponibilidad e) calidad y f) el tipo de método de cultivo hidropónico que va a ser empleado (Resh, 2006). En ocasiones la mala experiencia con un sustrato se explica en base a que no se usó la granulometría adecuada (Castellanos, 2009).

La selección del sustrato para un cultivo permite optimizar la producción en los viveros y evitar el agotamiento del suelo (López *et al.*, 2005). Otros puntos menos decisivos pero importantes que deben considerarse en la elección del sustrato son:

- a) Disponibilidad y homogeneidad. Los materiales a utilizar como sustratos deben estar disponibles en abundancia y con gran homogeneidad en cuanto a sus características granulométricas.
- b) Razonable costo de adquisición y transporte. Este es un parámetro significativo, aunque no debe de estar por encima de las características básicas. Es decir, es preferible adquirir un sustrato de mayor costo que cumpla con las características mínimas de calidad (aeración, retención de agua, espacio poroso, etc.). Otro aspecto importante es el costo del transporte, pues por sus bajas densidades es costoso transportar volumen de bajo peso, por largas distancias.
- c) Finalidad de la producción: Cada sustrato tiene un uso específico y hay que determinar para qué se requiere, con el objeto de elegirlo correctamente. El tipo de cultivo y el clima son parámetros importantes.

d) Impacto ambiental: Hay sustratos provenientes de recursos naturales difícilmente renovables como es el caso de la turba, tierra de monte, etc., por lo que cada vez es más limitado su uso. El reciclado es también un parámetro de importancia al elegir un sustrato (Castellanos, 2009).

El sustrato empleado tiene un efecto directo en el desarrollo inicial, por lo que es necesario realizar ensayos para determinar los sustratos que se obtenga el mejor resultado (Altamirano *et al.*, 2002).

## **2.2. Caracterización de sustratos**

### **2.2.1. Características físicas**

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son de mucha importancia. Una vez que el sustrato esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas de dicho sustrato (Urrestarazu, 2004). Las propiedades físicas de los sustratos dependen de la naturaleza y características del material utilizado, del tamaño de sus partículas y del estado de empaquetamiento de la misma (Alarcón, 2006).

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el contenido en aire y en agua, así como su variación en función del potencial matricial (Alarcón, 2006). Las propiedades físicas de los sustratos, particularmente las relaciones aire: agua, son criterios de enorme importancia a la hora de elegir la geometría del contenedor a utilizar (especialmente su altura o profundidad) y de programar y manejar el riego (Alarcón, 2006). Las principales características físicas que se evalúan en un sustrato son: la densidad real y aparente, la distribución granulométrica, porosidad y aireación, retención de agua, permeabilidad, distribución y tamaño de poros, y estabilidad estructural (Bracho *et al.*, 2009).

Es importante resaltar que aunque el conocimiento de las propiedades físicas particulares de los materiales usados como componentes de sustratos hortícolas reviste especial importancia como punto de partida para su selección, la mezclas de los mismos puede producir sustratos con características físicas muy diferentes a las

originales particularmente cuando existen grandes contrastes en el tamaño de sus partículas ya que puede ocurrir un proceso de mezclado, donde las muy pequeñas llenan los intersticios o poros entre las partículas mayores reduciendo la fracción de volumen de poros totales y originando sustratos con características muy diferentes en sus capacidades de aireación y de retención de humedad (Pire *et al.*, 2003).

**Granulometría o tamaño de partícula.** Se refiere a la proporción de diámetro de las partículas que constituyen el sustrato. Debido a que la mayoría de los sustratos están constituidos por una mezcla de partículas de diferentes tamaños, es de esperar que sus propiedades físicas se vean afectadas en función de la distribución del tamaño de éstas, por lo que la caracterización granulométrica de los materiales es una práctica de rutina (Castellanos, 2009). La granulometría del sustrato determina el tamaño y distribución de los poros y la proporción agua:aire y en consecuencia el régimen de riego y el desarrollo de las plantas (Vargas *et al.*, 2008). Un ejemplo de ello es que, materiales de textura gruesa, con tamaño de partículas superior a 1 mm retienen cantidades reducidas de agua y presentan alta aireación. Por el contrario, los materiales finos, con partículas inferiores a 0.5 mm retienen grandes cantidades de agua, la cual es difícilmente disponible para la planta y por regla general están mal aireados (Castellanos, 2009). El tamaño óptimo de partículas para sustratos hortícolas está entre 0.25 y 2.5 mm (Urbina *et al.*, 2006).

**Densidad aparente (Da).** Se define como la relación entre la masa seca de las partículas del sustrato y el volumen aparente que éstas ocupando, es decir, considerando el volumen poroso existente entre las mismas, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Informa sobre la capacidad de anclaje y soporte de la planta por parte del sustrato, así como sobre la facilidad de transportar de este último durante su manejo y manipulación. Permite, además, calcular la porosidad total y expresar en volumen los resultados de la caracterización físicas obtenidas en masa o peso (Alarcón, 2006). Se recomienda tener densidades aparentes superiores a  $0.5 \text{ g/cm}^3$  (Castellanos, 2004).



**Densidad real (Dr).** Es la relación entre la masa seca de las partículas del sustrato y el volumen real que éstas ocupan, es decir, excluyendo tanto el volumen de los poros internos de las partículas como el espacio poroso existente entre las mismas; se expresa en  $\text{g/cm}^3$  (Alarcón, 2006). La densidad real varía según la materia que se trate y suele oscilar entre 2.5 a  $3 \text{ g/cm}^3$  para la mayoría de los materiales de origen mineral (Arellano, 2002).

**Porosidad total.** Indica el volumen total del sustrato no ocupado por las partículas sólidas del mismo y que, por tanto estará lleno de agua y de aire. La porosidad se calcula con la relación: Porosidad (%) =  $(1 - D_a/D_r) \times 100$  (Alarcón, 2006). Se recomienda que el sustrato tenga una elevada porosidad de alrededor del 85% del volumen total (Velasco, 2006). Artetxe *et al.*, (1995), menciona que la porosidad normal de un sustrato es alrededor de 85-95% del volumen total de este, mientras que en suelos supone un 50%. Pire *et al.*, 2003, comenta que deben existir suficientes poros pequeños para retener el agua que va a absorber la planta y suficientes poros grandes para permitir el intercambio de aire con el medio externo y mantener las concentraciones de oxígeno por encima de los niveles críticos. Penningsfeld y Kurzmann (1975) mencionan que la estabilidad estructural será la que determine si se ha de mantener con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo del poder de disgregación y descomposición del material.

**Capacidad de aireación (CA).** Se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 1 kPa (Alarcón, 2006). Normalmente oscila entre el 30% y 40% del volumen total (Velasco, 2006). Urrestarazu, 2004, menciona que el volumen óptimo es del 20-30%. Prasad y Ni Chualáin 2004 citado por Vargas *et al.*, 2008, estudiaron sustratos preparados con turba y mezclas de turba, polvo de coco, corteza, composta de desecho de plantas y piedra pómez, con diferentes proporciones de partículas menores a 1 mm de diámetro, concluyeron que a medida que el porcentaje de partículas < 1 mm aumenta, la capacidad de aireación disminuye. En trabajos previos, Handreck 1983 citado por Vargas *et al.*, 2008 estudió el efecto del tamaño de partícula sobre la capacidad de aireación y el agua total disponible en

sustrato de corteza de pino y arena; concluyó, que el tamaño de partícula en el intervalo de 0.25 a 0.5 mm de diámetro modificó estas características.

**Agua fácilmente disponible (AFD).** Diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato tras haber sido saturado y dejado drenar a 1 kPa y el volumen de agua contenido en el mismo a 5 kPa (Alarcón, 2006). Valor óptimo en volumen es de 20-30% (Urrestarazu, 2004). Muchos experimentos han demostrado que una tensión de agua superior a 50 cm puede afectar desfavorablemente el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Urrestarazu, 2004). El valor de la disponibilidad de agua es importante porque permite controlar el riego, a la vez que puede caracterizar los sustratos y compararlos (Montserrat, 1997).

**Agua de reserva (AR).** Cantidad de agua, en % en volumen, que libera el sustrato al pasar de 5 a 10 kPa (Alarcón, 2006). En plantas hortícolas se ha estudiado que pueden alcanzar hasta 300 cm de columna de agua, sin afectar significativamente al crecimiento de la planta. Valor óptimo es del 4-10% (Baixauli *et al.*, 2000).

**Capacidad de retención de agua (CRA).** La capacidad de retención de agua, se refiere al contenido máximo de agua que puede retener un sustrato una vez que éste se ha saturado y se ha dejado drenar. La capacidad de retención de agua, depende de las características físicas del sustrato y de la altura del contenedor, mientras más alto es el contenedor, menor será la retención de agua y mayor será la cantidad de aireación a disposición de las raíces, y viceversa. Las partículas con forma regular tienen una mayor superficie que aquellas que son lisas y redondas y, por tanto, poseen un mayor superficie que aquellas que son lisas y redondas y, por tanto, poseen un mayor poder de retención para el agua (Resh, 2006). Su valor óptimo varía de 50 a 70% en volumen, para sustratos orgánicos, aunque en sustratos como tezontle este valor suele ser menor (35-50%) (Castellanos, 2009).

### 2.2.2. Características químicas

Las propiedades químicas de un sustrato se derivan de la composición elemental de los materiales y caracterizan la transferencia entre el sustrato y la

solución del mismo. Debido a que éstas se pueden modificar mediante la aplicación del riego y solución nutritiva, se consideran de menor importancia que las características físicas, sin embargo, es importante conocerlas (Castellanos, 2009). Desde el punto de vista químico, las propiedades más importantes son: pH, relación carbón/nitrógeno, disponibilidad de nutrientes, y capacidad de intercambio cationico (Bracho *et al.*, 2009).

**pH.** El pH afecta la disponibilidad de los nutrimentos en el sustrato, así como sobre la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Castellanos, 2009). Los materiales orgánicos presentan mayor capacidad tampón que los inorgánicos y por lo tanto, mayor capacidad para mantener constante el pH (Baixauli *et al.*, 2000). El nivel óptimo aconsejable para el manejo de cultivo sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato se sitúa en valores comprendidos entre 5.5 y 6.8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes (Baixauli *et al.*, 2000). Sin embargo, cada cultivo tiene un intervalo de pH específico para su mejor desarrollo (Bautista *et al.*, 2006).

**Relación C/N.** El valor de dicha relación nos da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debida a la actividad microbiana. En sustratos para horticultura se recomienda valores inferiores a 20 (Baixauli *et al.*, 2000).

**Disponibilidad nutrimental.** Es la capacidad de un sustrato para aportar nutrimentos a la planta y depende del contenido de éstos en el sustrato y de la capacidad de intercambio cationico (CIC) que posea (Castellanos, 2009).

**Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Se define como la suma total de cationes que pueden ser adsorbidos e intercambiados en un sustrato. Los sustratos orgánicos presentan una elevada CIC, que representan un depósito de reserva para los nutrimentos, mientras que los materiales con baja CIC, como la mayoría de los sustratos minerales, retienen cantidades reducidas de nutrimentos y, por tanto,

presentan menor capacidad de amortiguamiento ante una reducción en el suministro nutrimental. En el caso de materiales orgánicos la CIC puede ir de 50 a 100 me/100g, mientras que para los materiales minerales ésta puede ir de 0 a 10 me/100g de sustrato (Castellanos, 2009). Miranda Velázquez y Hernández Ortiz (2002), mencionan que ningún sustrato posee todas las características ideales para el desarrollo de un cultivo.

## **2.3. Principales sustratos hortícolas y sus características**

### **2.3.1. Arena**

Las arenas son materiales silíceos (óxido de sílice,  $\text{SiO}_2$ ), de composición forma y color variados dependiendo de la constitución original de las rocas de las que provenga. El tamaño de partícula de las arenas va de 0.2 a 2 milímetros de diámetro. Tienen una densidad aparente de 1.30 a 1.84  $\text{gr/cm}^3$ , que puede representar de 1350 a 1500 kilos por metro cúbico, con una densidad real de 2.6 a 1.84  $\text{gr/cm}^3$  (Miranda *et al.*, 2007). Porosidad inferior al 50% y desde el punto de vista químico se considera un material inerte, con excepción de las arenas de río que contienen materiales orgánicos (Miranda *et al.*, 2007). Las propiedades físicas de las arenas varían en función del tamaño de las partículas. Las arenas finas presentan buena capacidad de retención de agua, pero tiene mala aireación, por el contrario, las arenas gruesas presentan buena aireación con deficiente retención de humedad. La principal ventaja de las arenas es que son prácticamente permanentes, presentan buena estabilidad y son fáciles de desinfectar (Miranda *et al.*, 2007).

### **2.3.2. Perlita**

Es un silicato de aluminio de origen volcánico. El material recién sacado se muele y es transformado industrialmente mediante un tratamiento térmico con precalentado a 300-400°C y depositado en hornos a 1000°C. A estas temperaturas se evapora el agua contenida en sus partículas, obteniendo un material muy ligero con una alta porosidad, obteniendo un material de 128  $\text{kg/m}^3$  de densidad. Es también un material inerte que no se descompone ni biológica ni químicamente. Al ser un silicato de aluminio, empleando soluciones nutritivas con pH inferior a 5, se

puede producir una solubilización del aluminio y provocar fitotoxicidad. El pH es neutro o ligeramente alcalino inicialmente y puede ser corregido como en el caso de la lana de roca. Su salinidad es muy baja. Tiene muy baja capacidad de intercambio catiónico (1.5-2.5 meq./100 g.) y capacidad tampón (Baixauli *et al.*, 2000).

### **2.3.3. Lana de roca**

Se obtiene por la fundición de un 60% de diabasa, 20% de piedra caliza y 20 % de carbón de coque, que se introduce en un horno a una temperatura de 1600 °C. La masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale en forma de fibras de aproximadamente 0.005 mm. De grosor. En el proceso se añaden estabilizantes (resina fenólica bakelita) y mojanter. Posteriormente la lana se comprime a una temperatura de 260°C y adquiere su forma, en donde se corta en tablas, para ser embolsadas con un plástico opaco, generalmente blanco en la cara exterior y embalada. Las planchas se convierten en lo que denominamos tablas, tacos y bloques, en donde cultivamos las plantas o se realizan los semilleros respectivamente (Baixauli *et al.*, 2000). Más del 95% del agua retenida por la lana de roca es fácilmente asimilable, el material no tiene prácticamente agua de reserva ni agua difícilmente disponible, con lo que la planta puede disponer de casi la totalidad del agua retenida en la tabla con una gran facilidad, aspecto que resulta conveniente en la medida en que la planta debe esforzarse muy poco para tomar la solución nutritiva, al mismo tiempo en su manejo se deben tomar las precauciones oportunas, evitando dejar sin suministro de solución nutritiva durante un periodo largo (Baixauli *et al.*, 2000).

### **2.3.4. Fibra de coco**

Es un material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco, tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo que son utilizadas para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., se aprovechan las fibras cortas y el polvo de tejido medular en proporciones variables como sustrato (Baixauli *et al.*, 2000). La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y

está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar (Baixauli *et al.*, 2000). No se debe confundir con el polvo de coco ya que esta proviene de los residuos que quedan después de la extracción de la fibra (Ayala *et al.*, 2008).

### **2.3.5. Tezontle**

Es un material procedente de las erupciones volcánicas, constituidos por silicatos de aluminio, formados por fragmentos y partículas de lava porosa y poco pesada. El tezontle puede ser de color rojo, negro o amarillo, los tres son buenos para emplearse como sustratos en la hidroponía. Presentan partículas de varios tamaños, mismas que pueden separarse con un tamaño de malla apropiado, para obtener diferentes tamaños de arena y grava (Miranda *et al.*, 2007). Presenta partículas de tamaño variable, tiene buena aireación, la retención de humedad está en función del tamaño de partícula; tezontles de partículas pequeñas presentan alta retención de humedad, partículas grandes, baja retención. En general presentan buen drenaje, las densidades aparente va de media a alta; con poco aporte de nutrientes, baja capacidad amortiguadora, contenido de sales variable, baja capacidad de intercambio catiónico, porosidad del 65 al 70%, con alta porosidad interna, pH de neutro a alcalino; de 7.5 a 8.6, aunque también existe con pH ácido, generalmente está libre de sustancias tóxicas. Presenta baja capacidad de intercambio catiónico. Tiene buena estabilidad física, presenta variaciones considerables de temperatura, puede mezclarse con otros materiales en diferentes proporciones (Miranda *et al.*, 2007). En la mayoría de los trabajos hechos en México sobre sustratos se le ha dado mayor importancia a los aspectos agronómicos, lo que ha llevado a los usuarios a un manejo empírico de estos materiales (Vargas *et al.*, 2008).

## **2.4. Problemática de los sustratos**

En México, la hidroponía empezó a desarrollarse desde hace aproximadamente veinte años, y dada las circunstancias de una técnica relativamente nueva, se empezaron a utilizar sustratos de importación muy eficientes pero con algunos inconvenientes, como la adquisición y los altos costos, tales como

la agrolita, la lana de roca, perlita, el “peat moss”, sin embargo, y dada la situación económica y del desconocimiento en el manejo por los productores, se hace necesario buscar por alternativas de sustratos que no impliquen, altos costos y de fácil manejo, por ejemplo, el “tezontle” (del eje neovolcánico), “tepetztl” y la fibra de coco (de las zonas costeras), que han sido excelentes sustratos en las diferentes especies hortícolas (Velasco *et al.*, 2004).

La expansión de los cultivos sin suelo tiene como consecuencia un aumento en la demanda de materiales para ser utilizados como medio de cultivo, lo que supone la sobreexplotación de recursos naturales no renovables como es el caso de las turbas. La preocupación por el medio ambiente nos lleva a la búsqueda de nuevos sustratos que cumplan una serie de criterios como son la durabilidad, el impacto ambiental mínimo para su obtención, procesado y utilización, y la ausencia de problemas para su eliminación después de su uso (Urrestarazu *et al.*, 2005). No obstante, surge la necesidad de disponer de un material producido localmente, estable y de probada calidad e inocuidad. Esto además de ser un importante ahorro de divisas, evitaría los problemas de diseminación de plagas y enfermedades de una región a otra (Quesada *et al.*, 2005).

## **2.5. Principales enmiendas utilizada en horticultura**

### **2.5.1. Yeso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )**

La utilización de yeso permite mejorar la estructura del suelo, facilitando el drenaje y la absorción de agua y nutrientes de la planta (Maroto *et al.*, 2000 citado por Longo *et al.*, 2005). Las principales aplicaciones del yeso en la agricultura son: como fuente de Ca y de S para el crecimiento de las plantas, pero también se aplica para mejorar físicamente suelos sódicos y arcillosos pesados, y como mejorador de acidez del subsuelo y de la superficie (Nielson *et al.*, 2005). A la vez permite desplazar el Al intercambiable y reemplazarlo por Ca (Braeuner *et al.*, 2005) y actúa en el complejo de intercambio desplazando al sodio, el que se eliminaría con un lavado posterior (Longo *et al.*, 2005). Gurovich 1991, menciona que el yeso parece no ser necesaria, salvo en aquellos suelos en los cuales la concentración de sodio

en el complejo de intercambio supere un 20%. El yeso generalmente se utiliza en suelos carentes de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) precipitado en el suelo (Zérega *et al.*, 1991). Una de las propiedades más destacables del yeso es su relativamente alta solubilidad en agua pura (2.6 g/L a 25 °C), considerablemente mayor a la de otros minerales como la calcita, pero mucho menos que las sales solubles (Gambaudo, 2007). En su aplicación es importante mantener un equilibrio entre el Ca, K y Mg, pues al agregar una dosis muy elevada de Ca, se genera un desbalance con los otros cationes, que conviene corregir mediante aplicaciones de K y Mg en el fertirriego (Castellanos, 2004).

### **2.5.2. Azufre**

El azufre elemental ( $\text{S}_2$ ), es un formador de ácido que permitiría una disminución de pH en forma rápida, bajo condiciones favorables de humedad y temperatura (Longo *et al.*, 2005).

### **2.5.3. Cal agrícola o calcita**

Es un material más utilizado para la neutralización de la acidez de los suelos. Contiene preferentemente carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Se obtiene a partir de piedra caliza que se muele y se tamiza. Como se trata de un mineral, contiene impurezas que reducen el contenido de carbonato. La calcita pura contiene un 40% de Ca (Bernier *et al.*, 2006). El objetivo de aplicar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es desplazar el Al y Mn intercambiables de las arcillas del suelo y neutralizar por precipitación el ion  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ . En términos generales, la aplicación ( $\text{CaCO}_3$ ) incrementa la recuperación de los nutrientes por las plantas, mejora las condiciones físicas y biológicas del suelo, mejora la fijación simbiótica del nitrógeno en las leguminosas y mejora la eficiencia de algunos herbicidas (Pinochet *et al.*, 2005). La dosis de cal varían de 0.5 hasta 3 o más toneladas por hectáreas. La meta es incrementar el pH por encima de 5.5, medido en agua (Usabiaga, 2005).



#### 2.5.4. Materia orgánica

Los autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo. No existe una definición de humus con la que todos los especialistas estén de acuerdo; pero, en general, el término humus designa a las "sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negrozco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal". Contiene aproximadamente un 5% de nitrógeno. El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso (Gros y Domínguez, 1992). La producción de hortalizas con aplicación de enmiendas orgánicas, es una práctica que se ha extendido a escala mundial, por la mínima contaminación del ambiente que conlleva y los resultados satisfactorios que se han encontrado; lo anterior ha revitalizado la idea del reciclaje eficiente de los desechos orgánicos de la actividad agropecuaria, así como el uso de los abonos orgánicos, de tal manera que se reduzca al mínimo imprescindible el uso de los fertilizantes sintéticos como vía de nutrición de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2009). Dentro de los sustratos orgánicos, sobresalen la composta y la vermicomposta, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Cruz *et al.*, 2009).

El vermicompost se genera como resultado de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas de los residuos orgánicos, provocadas en el intestino de las lombrices, e.g. *Eisenia fetida*. Los residuos se transforman en un material rico en elementos nutritivos, fácilmente asimilables para las plantas (Moreno *et al.*, 2008). La vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento (Cruz *et al.*, 2009). Altamirano *et al.*, (2002), menciona que libera lentamente sus

elementos nutritivos; tiene gran capacidad para mezclarse con el suelo y ayuda a la transformación de los elementos minerales nutritivos en elementos inorgánicos disponibles para la planta.

Una tendencia consistente cuando se ha evaluado el crecimiento de plantas en macetas es que la mejor respuesta ocurre cuando el vermicomposta constituye de 10 a 20% del volumen del sustrato (Moreno *et al.*, 2008). Moreno *et al.*, (2005), reporta que con mayores proporciones de vermicomposta (> 20%) en el medio de crecimiento disminuyó la productividad de la planta. En algunos casos, aun con sólo el 5% de vermicomposta en la mezcla, se han obtenido respuestas significativas. Además, se ha establecido que las mezclas de vermicomposta con sustratos comerciales generaron mayores efectos sobre el crecimiento, al compararlo con las macetas que contenían vermicomposta al 100%. Sin embargo, a la fecha la documentación científica de las respuestas de las plantas a la aplicación del vermicomposta, los suelos o los medios de crecimiento, es todavía incierta (Moreno *et al.*, 2008). Es importante combinar vermicomposta y composta con medios inertes, arena o perlita, para mejorar las características físicas y químicas, ya que por sí solo, dificultaría la aireación a la raíz (Márquez *et al.*, 2005).

Moreno *et al.* (2005) citado por Rodríguez *et al.*, (2008), determinaron que la producción de tomate en invernadero puede efectuarse en mezclas de vermicomposta y arena como sustrato; ellos encontraron que 12.5 % de vermicomposta en mezclas con 87.5 % de arena produjeron el mismo rendimiento ( $P \leq 0.05$ ) que el testigo (arena con solución nutritiva), con 170 y 173.7 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. De los principales elementos nutritivos presentes en la composta, de 70–80% de fósforo y de 80–90% de potasio están disponibles el primer año, mientras que el nitrógeno (N), todo es orgánico, es decir, debe mineralizarse para ser absorbido por las plantas, no obstante, en el primer año, sólo se mineraliza el 11%, generándose una deficiencia de este elemento, si no es suplido apropiadamente (Márquez, 2008). Desde el punto de vista económico es atractivo el uso de sustratos orgánicos, ya que permite reducir los costos derivados de la

fertilización química 10%. (Cruz *et al.*, 2010). Las compostas y vermicompostas se han utilizado como sustratos debido a su bajo costo (Cruz *et al.*, 2009).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) en un sustrato de tezontle mejorado mediante cribado y adición de vermicomposta, y cultivado directamente en suelo mezclado con yeso bajo condiciones de invernadero.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar dos sustratos (tezontle negro o rojo) en base a las propiedades físicas de retención de humedad, porosidad, densidad aparente y granulometría.

Mejorar las propiedades físicas del sustrato seleccionado mediante la adición de vermicomposta.

Evaluar la producción de jitomate, y la eficiencia en el uso del agua, en la mezcla seleccionada de tezontle con vermicomposta, y en suelo mezclado con yeso bajo condiciones de invernadero.

Realizar un análisis beneficio/costo de la producción de jitomate en los tratamientos evaluados.

### **IV. HIPÓTESIS**

Las propiedades físicas del tezontle pueden ser mejoradas mediante cribado y adición de vermicomposta para la producción de jitomate bajo condiciones de invernadero.

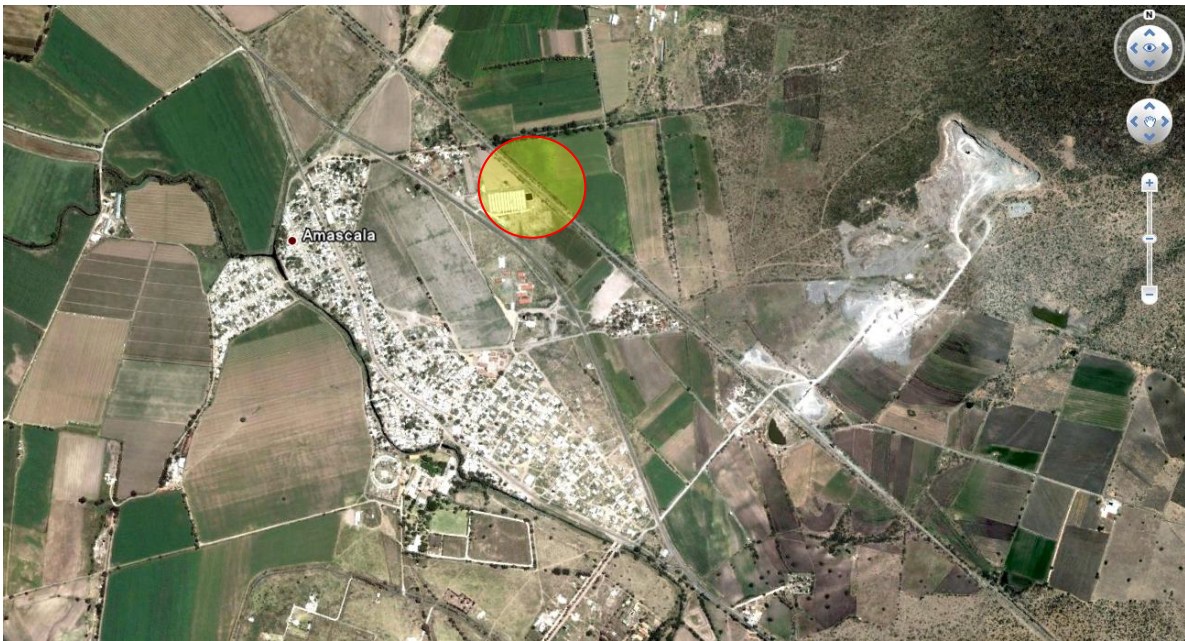
Es posible la producción de jitomate directo en suelo, bajo condiciones de invernadero, si se aplica yeso como mejorador.

Los dos métodos propuestos mejoran el uso eficiente del agua bajo condiciones de invernadero.

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en el Campus Amazcala de la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (Figura 1). El poblado de Amazcala pertenece al municipio del Marqués, Querétaro. El cual se localiza en el sector suroeste del estado, entre los  $20^{\circ}$  y  $31'$  y  $20^{\circ} 58'$  de latitud Norte. Su longitud se encuentra entre los  $100^{\circ} 09'$  y los  $100^{\circ} 24'$  del oeste a 1850 m sobre el nivel del mar. Colinda al oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. Las carreteras disponibles para llegar al poblado de Amazcala son la carretera 57, la carretera a Chichimequillas y México libre. La temperatura media oscila entre los 18 y los 24 °C, con un clima predominante subtropical, templado semiseco (INEGI, 2005).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio, en Amazcala, Mpio. de El Marqués, Qro.

## 5.2. Infraestructura, materiales e insumos

### 5.2.1. Invernadero, contenedores, fertilizante y pesticidas

El experimento se desarrolló en un invernadero con estructura de tubos galvanizados, cubierta de plástico de polietileno, orientación Norte-Sur con ventilación lateral y cenital y riego automatizado. Con una dimensión de 12 m de largo por 9 de ancho, con una superficie de 108 m<sup>2</sup> (Figura 2). Los contenedores que se utilizaron fueron bolsas de polietileno negro de un volumen de 18 litros por planta. En la fertilización se utilizaron fertilizante orgánico Blue 76®, el cual es 100% orgánico. Para el control de plagas y enfermedades, se utilizaron pesticidas orgánicos como Colapso® y Solution®. El primero es fungicida y bactericida para el control de Cenicilla Sclerotium sp, Alternaria solani, Tizones y Mildiu y el segundo es un insecticida para controlar Pulgón, Paratrioza (ninfa y adulto) y Mosca blanca (huevos, ninfa y adulto).



**Figura 2.** Invernadero tipo capilla a doble capa con cubierta de polietileno.

### 5.2.2. Material vegetal

En este estudio se utilizó la variedad Loreto de jitomate saladette de crecimiento indeterminado, vigorosa, con madurez relativa de 70-75 días y tamaño de fruto de 100-125 g (Figura 3).



**Figura 3.** Variedad Loreto de jitomate saladette de crecimiento indeterminado.

## 5.3. Manejo del cultivo

### 5.3.1. Producción de plántula, trasplante y distribución de plantas

Se utilizaron contenedores de polietileno de 38 cavidades, rellenas con sustrato comercial llamado Sunshune®. Posterior a la siembra, las charolas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero durante 35 días hasta que alcanzaron las condiciones óptimas de trasplante (15 a 20 cm de altura ó tenga 4 hojas verdaderas). El 31 de Marzo del 2010 se trasplantó (Figura 4). La distribución de las plantas fue a tresbolillo con un distanciamiento de 30 cm entre planta y 40 cm entre hilera, con pasillos de 1 m, haciendo una densidad de siembra de 300 plantas en una superficie de 108 m<sup>2</sup> (2.7 plantas/m<sup>2</sup>).



**Figura 4.** Trasplante de jitomate en maceta y directo en suelo.

### **5.3.2. Entutorado y poda de brotes**

Este proceso consistió en el uso de hilos de rafia enredados en un gancho, sostenidos en la parte superior por un alambre, el cual esta sujetado a la estructura del invernadero. A los 8 días después de trasplante, las plantas se sostuvieron a los hilos por medio de anillos de plástico y de esta manera se permitirá guiar a la planta. Solo se puso un anillo en la base de del tallo y se liaron semanalmente ya que estas crecen en promedio 15 cm cada semana, con esto se permite a las plantas mantener un crecimiento erecto, de otra manera, las plantas se entrelazarían unas con otras y ya no se permitiría la captación de radiación solar, y aprovechar el microclima entre ellas. En cada axila de las hojas aparece un brote, los cuales fueron eliminados alrededor de 5 cm de largo. Esta labor se realizó al momento del entutorado.

### **5.3.3. Poda de hojas**

Las plántulas de jitomate presentaron cuatro hojas al momento del trasplante y a partir de ahí se contó el número de hojas por planta cada semana en todos los tratamientos. A los 14 días después del trasplante se realizó el corte de las dos



hojas cotiledoneas, esto por cuestiones de sanidad para las mismas plantas. Posteriormente se empezaron deshojar dejando entre 14 a 17 hojas para no provocar un desbalance hídrico y energético, a la vez permitir que todas capten energía solar y realicen la fotosíntesis, ya que si se deja todo el follaje, no todas las hojas son funcionales por el sombreado que se ocasionan; otra razón por la que se realizó la poda de hojas fue proporcionar aireación a las plantas y así evitar la presencia de enfermedades fungosas, resultado del microclima creado y que es ideal para el desarrollo de estas enfermedades.

#### 5.3.4. Riego

Se utilizó un sistema de riego con goteros autocompensantes con un gasto de 4 L de agua por hora. Para las necesidades de agua para el cultivo se manejaron los datos del Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de jitomate bajo invernadero (Jaramillo *et al.*, 2007)

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	L/m <sup>2</sup>
1	Enraizamiento	0.6
2-5	1º al 4º racimo floral	1.5
6	5º racimo floral	3.5
7-9	6º racimo floral	3.5
10-11	7º al 8º racimo floral	4
12-15	Inicio de cosecha	4.5
16-17		5
18-20		5.5
21-27		5.0

#### 5.3.5. Control fitosanitario

Semanalmente se realizaron aplicaciones foliares de Colapso® y Solución® para prevenir y controlar plagas y enfermedades con dosis de 1 a 2 ml/l de agua y de 8 a 12 ml respectivamente.

### 5.3.6. Fertilización

Se aplicó a los diez días una dosis de 1.5 litros después del trasplante con abundante agua. Cuando la planta alcanzó una altura de 1.5 metros se hizo una aplicación foliar con una dosis de 0.5 ml/L de agua y antes de la cosecha 2.5 litros hasta finalizar el ciclo del cultivo. Todas las aplicaciones mencionadas se realizaron cada siete días.

### 5.3.7. Cosecha

La cosecha de fruto de jitomate se realizó manualmente del día 3 de Junio al 9 de Agosto 2010 y comercializado en el campus Amazcala. Se realizaron cosechas en promedio cada ocho días.

## 5.4. Análisis estadístico

### 5.4.1. Tratamientos y Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, en el cual se distribuyeron tres tratamientos (Cuadro 2) con cuatro repeticiones, cada repetición estuvo constituida de 15 plantas, haciendo un total de 60 plantas por tratamiento, por lo que el experimento constó de 180 plantas. Las hileras de plantas en los extremos del experimento no se consideraron por efecto orilla, dando un total de 120 plantas no evaluadas.

**Cuadro 2.** Tratamientos a evaluar y dosis de cada uno.

<b>Tratamientos</b>	<b>Producto</b>	<b>Dosis</b>
Suelo más yeso	Yeso	5 ton/ha
Tezontle negro más vermicomposta	Tezontle y vermicomposta	50% cada uno por maceta de 18 L de volumen.
Suelo (testigo)	-	-

El yeso se mezcló con el suelo hasta una profundidad de 30 cm siete días antes del trasplante y solo se realizó una aplicación (Figura 5).



**Figura 5.** Mezcla de yeso con suelo a una profundidad de 30 cm.

El tezontle y vermicomposta se mezclaron tres días antes del trasplante en la misma proporción (Figura 6) y posteriormente se incorporaron en las macetas de 18 L de volumen. Finalmente, en el testigo no se aplicó ningún producto.



**Figura 6.** Mezcla de vermicomposta con tezontle negro en la misma proporción.

## 5.5. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en este estudio para el sustrato fueron: porcentaje de humedad, densidad aparente y real, porosidad total, y capacidad de campo. Para la planta, se midieron la altura, diámetro de tallo, niveles de clorofila, y rendimiento. Así mismo, se realizó un estudio de la relación beneficio/costo (B/C) del sistema de producción utilizado.

### 5.5.1. Evaluación de las propiedades del sustrato

El porcentaje de humedad, densidad aparente, y capacidad de campo fueron medidas previo a la selección del sustrato más adecuado tanto para el tezontle negro como para el tezontle rojo con diferentes granulometrías (de 38.1-9.51 mm, de 9.51-4.76 mm, de 4.76-2 mm, de 2-0.5 mm). En el caso de suelo y vermicomposta no se realizó ningún tamizado. Para la mezcla de vermicomposta con tezontle negro, que finalmente se utilizó en este estudio, se determinaron las variables porcentaje de humedad, densidad aparente y real, porosidad total, capacidad de campo, de acuerdo a los siguientes procedimientos.

**Porcentaje de humedad.** El material y equipo necesario para esta variable fueron: báscula, cucharón, charolas, horno. El procedimiento es el siguiente: Se tomó una muestra representativa del material, en este caso con tamaños de 38.1-9.51 mm, de 9.51-7.46 mm, de 4.76-2.0 y de 2.0-0.5 mm. La muestra se dejó secando en un horno por 24 horas, tomando el peso cada hora hasta que la variación fuera menor al 0.05 %. Posteriormente se determinó el contenido de humedad con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \left( \frac{W_i - W_s}{W_s} \right) * 100$$

Donde:

Ws: peso seco del suelo (g)

Wi: peso inicial del suelo (g)

**Densidad aparente.** El material y equipo necesario para conocer esta variable fueron: cilindro de PVC, balanza, cucharón, cinta adhesiva. El procedimiento fue el

siguiente: Primeramente se obtuvo el peso y el volumen del cilindro, cuyas dimensiones son 10 cm de altura por 7.62 cm de diámetro. El material utilizado fue previamente secado al horno, y el llenado se hizo en tres tiempos con llenados de un 1/3 de la altura del cilindro cada vez, golpeando suavemente para consolidar el material, pero sin llegar a compactarlo. Posteriormente se pesó el cilindro y de esta manera se tiene los datos para calcular la densidad aparente (Figura 7), que por definición es la relación del peso y el volumen en  $\text{g}/\text{cm}^3$ , de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Aparente, } D_a = \left( \frac{PSS - PR}{V} \right)$$

Donde:

PSS= Peso del sustrato seco en el recipiente en g.

PR= Peso del recipiente vacío en g.

V= Volumen del recipiente en  $\text{cm}^3$  (Alarcón, 2006).



**Figura 7.** Llenado con muestra seca del cilindro y peso del cilindro con la muestra.

**Densidad real.** El equipo y material necesario para conocer esta variable fueron: Picnómetro, balanza, franela, probetas de 250 ml. Este procedimiento incluye: El material de satura por 24 horas antes de iniciar la prueba. Para la calibración del picnómetro, este se llenó de agua hasta que la salida o extremidad superior dejó de gotear. Posteriormente, el material que fue saturado se colocó en una franela y se le quitó el exceso de agua, y se obtuvo el peso saturado.

Una vez pesado el material y el picnómetro calibrado, se procedió a colocar el material. En la salida del picnómetro se colocó una probeta de 250 ml para que alojara el volumen de agua desalojado por el material ingresado. Se leyó cuidadosamente y teniendo en cuenta el menisco el volumen de agua desalojado al depositar el material (Figura 8). Obtenida la lectura del volumen, posteriormente se llevó al horno para obtener de nuevo su peso seco y realizar el cálculo de la densidad real, que es la relación entre el peso seco del material entre el volumen desalojado del picnómetro.



**Figura 8.** Procedimiento para conocer densidad real de tezontle.

**Porosidad total.** Se calculo a través de la siguiente fórmula:  $EPT (\%) = (1 - D_a/D_r) \times 100$  (Alarcón, 2006). Con tres repeticiones.

**Capacidad de campo.** El equipo y material utilizado para este procedimiento fueron: cilindros de PVC, báscula, mallas, recipientes de plásticos, manta de cielo, ligas. Los cilindros en el fondo fueron sellados con manta de cielo y una liga para facilitar el

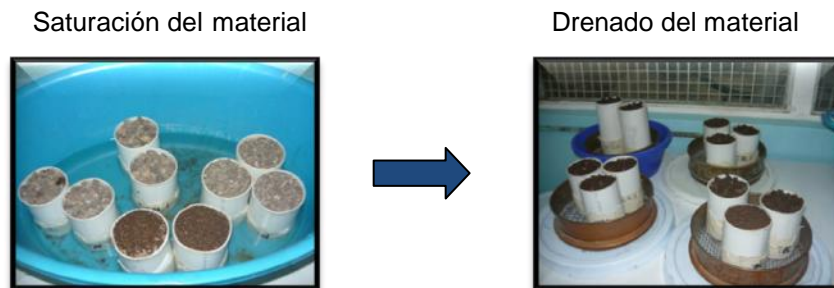
drenaje inferior. Las muestras fueron depositadas en cilindros en tres tiempos para proporcionar el acomodo del material. Se pesaron los cilindros vacíos y con material. Posteriormente se colocaron en una recipiente de plástico y se llenó con agua hasta 1/3 de la altura (H) de los cilindros, dos horas más tarde se agregó agua hasta 2/3 H, finalmente a las dos horas siguientes se agregó agua hasta (H) dejando un borde libre de 1 cm sin cubrir de agua. Se dejaron drenando las muestras por 12 horas sobre mallas para asegurar el libre drenaje de estas (Figura 9). Al cabo de este tiempo se tomó el peso de las muestras saturadas para calcular la capacidad de campo (CC) de cada material y cada tamaño de grano. La fórmula utilizada para este cálculo fue:

$$CC = \left( \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \right) * 100$$

Donde:

$W_{sat}$ : peso saturado de la muestra

$W_s$ : peso seco de la muestra



**Figura 9.** Procedimiento para conocer la capacidad de campo en tezontle

**Altura de planta.** Para realizar la medición se utilizó la rafia del entutorado para marcar la altura del punto de crecimiento con un flexómetro. A la semana siguiente se tomó esa marca como referencia para medir el crecimiento que tuvo la planta en esa semana, hasta el ápice o punta de crecimiento (Figura 10). Este procedimiento se repitió hasta terminar el ciclo del cultivo, tomándose ocho plantas por repetición.



**Figura 10.** Medición de la altura con flexómetro en planta de jitomate.

**Diámetro de tallo.** Se utilizó un vernier digital para su medición y se tomó el punto marcado de la semana anterior como la altura de la planta, de esta forma se obtuvo el grosor aumentado durante la semana. Se tomaron ocho plantas por repetición (Figura 11).



**Figura 11.** Medición de diámetro de tallo con vernier digital en planta de jitomate.



**Niveles de clorofila (Lectura SPAD).** Las lecturas del nivel de clorofila se efectuaron de manera no destructiva con el equipo Minolta SPAD 502 Chlorophyll meter, que mide la concentración relativa de clorofila por medio de la absorbancia de la luz a través de la hoja en 650 (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. La absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades "SPAD" (Soil Plant Analysis Development) serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994), por lo que a partir de unidades "SPAD" se puede estimar los contenidos de clorofila y nitrógeno total de las planta (Rodríguez *et al.*, 1998). Se seleccionaron cuatro hojas al azar por planta a cada una se le midió tres folíolos, el central y dos al azar, de los cuales se obtuvo un promedio con el aparato Minolta para obtener el nivel de clorofila de cada hoja. Las hojas que se midieron fueron de la parte superior, media y baja de la planta. Se analizaron ocho plantas por repetición (Figura 12).



**Figura 12.** Medición de clorofila con el equipo Minolta SPAD 502 Chlorophyll meter.

**Rendimiento.** Se registró el peso total de fruto de cada tratamiento, con la ayuda de una balanza digital y se reportaran en kilogramos por tratamiento.

**Relacion Beneficio/Costos (B/C).** Es el cociente que resulta de dividir el valor actualizado de la corriente de beneficios entre el valor actualizado de la corriente de los costos, a una tasa de actualización previamente determinada. La relación B/C expresa los beneficios netos obtenidos por unidad monetaria total invertida durante la vida útil del proyecto; si el valor es menor que uno, indicará que la corriente de costos actualizados es mayor que la corriente de beneficios y por lo tanto la diferencia (B/C – 1), cuyo valor será negativo, indicará las pérdidas por unidad monetaria invertida y viceversa, cuando la B/C es mayor que uno, la diferencia (B/C-1), cuyo valor será positivo, indicará la utilidad por unidad monetaria invertida. La fórmula para obtener la relación beneficio-costos es:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t}}$$

Donde

B<sub>t</sub>= beneficios en cada período del proyecto

C<sub>t</sub>= costos en cada período del proyecto

r= tasa de actualización

t= tiempo en años

(1 + r)<sup>-t</sup>= factor de actualización (Rucoba *et al.*, 2006)

**Nota:** Solo se evaluó un ciclo de producción, por lo tanto, la relación B/C se obtuvo dividiendo el beneficio entre el costo total de producción.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Caracterización física de tezontle negro y rojo para su elección

Después de la evaluación de las dos alternativas de sustrato, se seleccionó el tezontle negro, ya que presentó las mejores características físicas, con alrededor de 16% de humedad, densidad aparente de 0.41 g/cm<sup>3</sup> y una capacidad de campo de alrededor de 41%, con respecto al tezontle rojo, el cual presentó menor % humedad 2.76, capacidad de campo 33.96% y una mayor densidad aparente 0.5 g/cm<sup>3</sup>.

### 6.2. Características físicas del tezontle negro mezclado con vermicomposta en diferentes proporciones para su elección

El tezontle negro fue mezclado con la vermicomposta a diferentes proporciones para formar el sustrato de producción de jitomate. La mezcla al 50% presentó mayor capacidad de campo, por lo que se seleccionó como sustrato de producción en este estudio. Los datos obtenidos para las diferentes mezclas, así como del suelo de Amazcala, se presentan en el Cuadro 3.

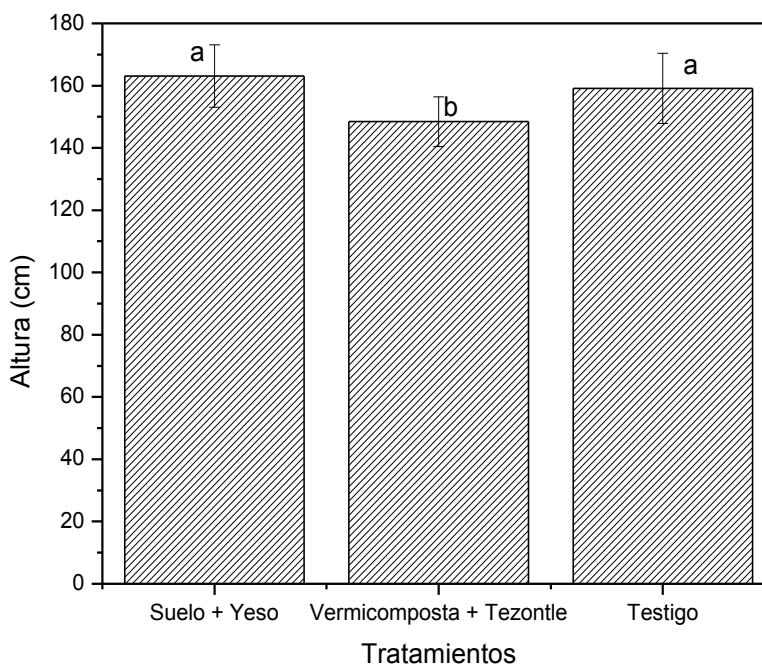
**Cuadro 3.** Características físicas del tezontle negro mezclado con vermicomposta

<b>Etiqueta</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Capacidad de campo (%)</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad partícula (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidad (%)</b>
<b>Suelo (testigo)</b>	22.69	65.07	0.43	1.35	68.01
<b>Vermicomposta (10%)</b>	11.28	45.47	0.39	1.32	70.29
<b>Vermicomposta (30%)</b>	12.56	50.65	0.40	1.33	69.84
<b>Vermicomposta (50%)</b>	19.73	56.70	0.44	1.34	66.87

### 6.3. Altura de planta

De acuerdo con la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), la mayor altura de planta se logró con suelo más yeso (163.07 cm), seguido

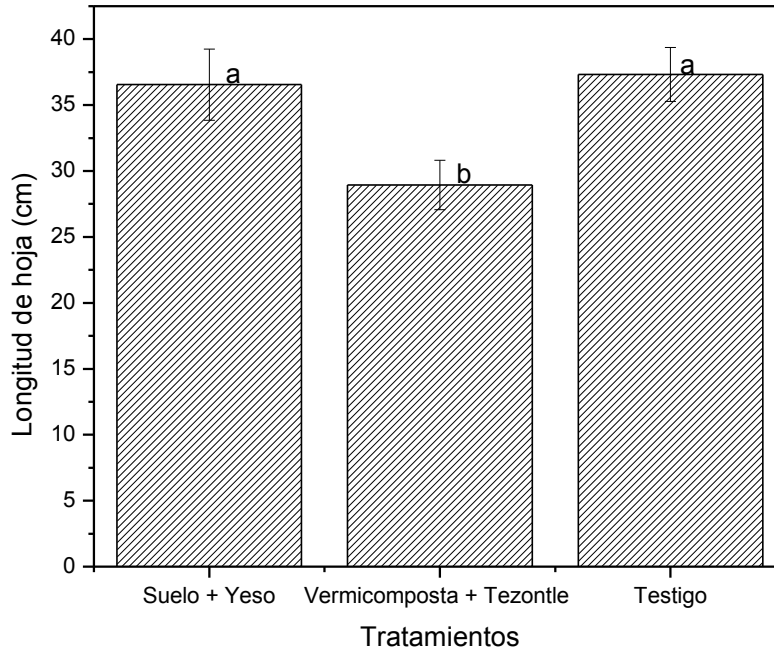
por el testigo (suelo sin yeso) con 159.1 cm, y finalmente el sustrato de vermicomposta mezclado con tezontle con 148.4 cm, respectivamente (Figura 13). Las letras en la Figura 13 denotan la diferencia estadística entre los tratamientos. Al menos analizando esta variable se demuestra que la plantación directa en suelo es una alternativa para la producción de tomate, sobre todo si se usa un mejorador de suelos como el yeso.



**Figura 13.** Altura de planta de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).  
**Nota:** Barras con la misma letra son iguales (Tukey=0.05)

#### 6.4. Longitud de hoja

Respecto al parámetro de longitud de la hoja, el análisis de varianza indicó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, mientras que la comparación múltiple de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) mostró un comportamiento similar al de la altura de la planta, donde no se encontraron diferencias significativas entre el suelo sin y con yeso (37.3 cm y 36.5 cm, respectivamente), pero en ambos casos dichos valores fueron mayores al de la vermicomposta mezclado con tezontle, con 28.9 cm (Figura 14), lo cual concuerda con la conclusión preliminar sobre la alternativa de plantar directo en suelo en invernaderos.

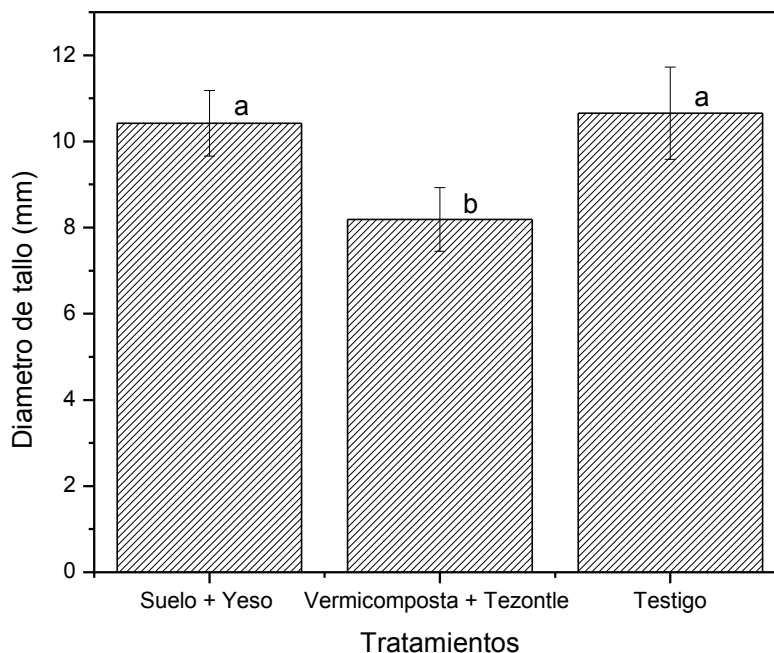


**Figura 14.** Efecto de tratamientos en la longitud de hoja en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Nota:** Barras con la misma letra son iguales (Tukey,  $\alpha=0.05$ )

### 6.5. Diámetro de tallo

En el caso de esta variable, el análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos. La comparación múltiple de medias (Tukey  $\alpha=0.05$ ) en el mismo sentido que la altura de la planta y longitud de la hoja mostró que no existen diferencias entre el diámetro de tallo del suelo sin y con yeso (10.6 y 10.4 mm, respectivamente), pero sí de estos dos tratamientos con la mezcla de vermicomposta y tezontle, con 8.1 mm (Figura 15).

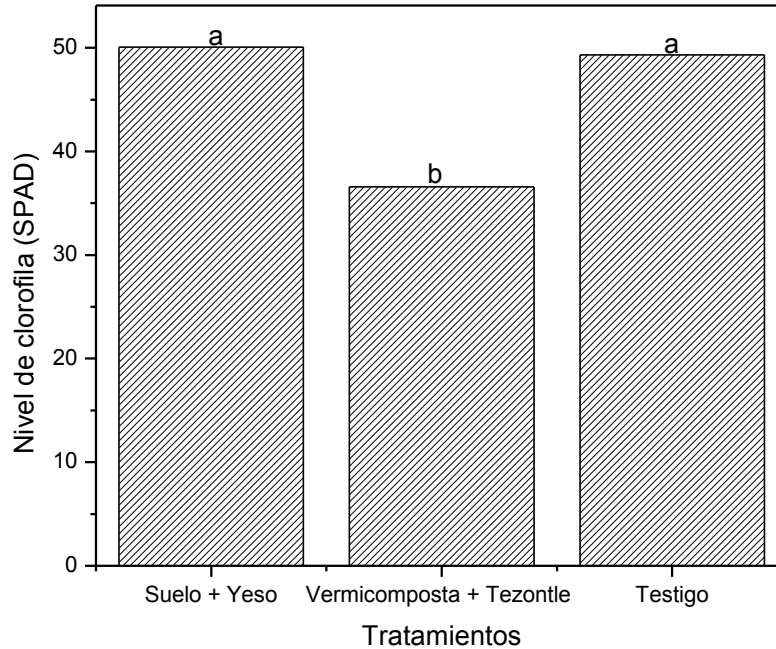
El menor vigor de plantas crecidas en mezcla de vermicomposta y tezontle en comparación con el suelo indican limitaciones en agua y nutrientes, en tiempo y cantidad, debido a la limitante del volumen y mejores propiedades físicas del suelo.



**Figura 15.** Efecto de tratamientos en el diámetro de tallo en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Nota:** Barras con la misma letra son iguales (Tukey  $\alpha=0.05$ )

### 6.6. Nivel de clorofila (SPAD)

La diferencia entre la plantación en suelo y sustrato fue muy evidente para el caso del contenido de clorofila. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, mientras que la comparación múltiple de medias (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), indicó que los mayores niveles de clorofila correspondieron al suelo sin y con yeso (50.1 y 49.3, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos, pero si mayores que la mezcla de vermicomposta más tezontle, con un valor de 36.6 en unidades SPAD (Figura 16). Los valores corresponden a tres mediciones desde Junio a Agosto.

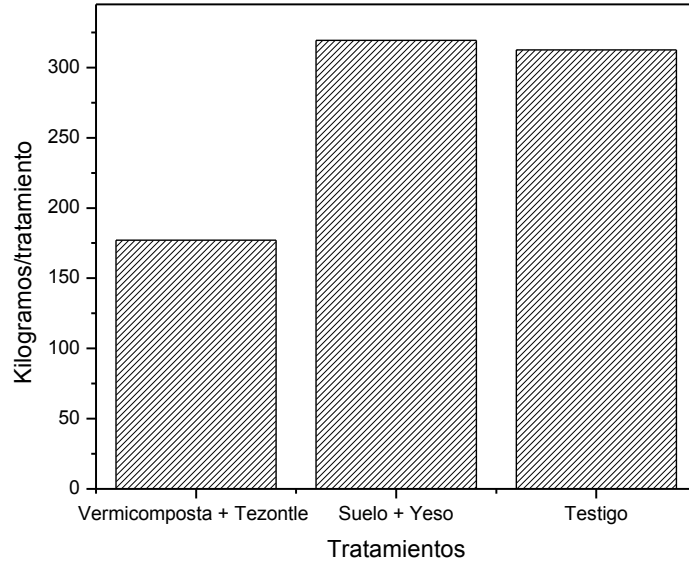


**Figura 16.** Niveles de clorofila en los tratamientos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Nota:** Barras con la misma letra son iguales (Tukey=0.05)

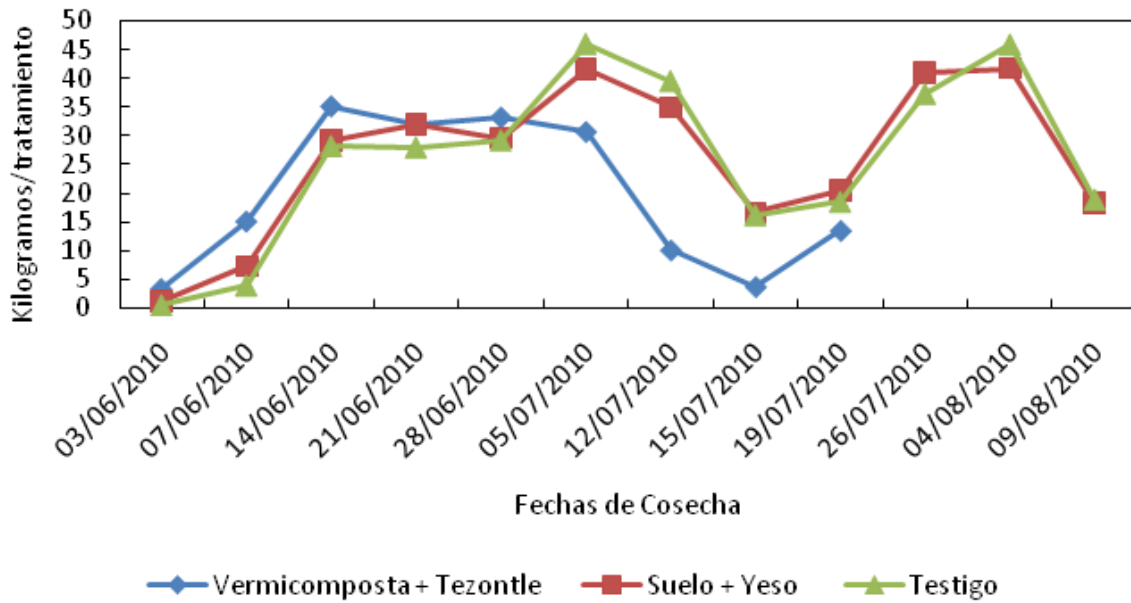
### 6.7. Rendimiento

Las diferencias en el vigor de la planta se vieron reflejadas en el rendimiento del jitomate sobre todo en los últimos dos tercios del periodo de cosecha. El rendimiento por planta mayor se obtuvo en el tratamiento de suelo con yeso con un valor  $5.32 \text{ kg planta}^{-1}$ , aunque sin ser diferente significativamente de la producción en suelo sin yeso, con un valor de  $5.21 \text{ kg planta}^{-1}$ . Estos valores superaron con mucho al rendimiento en la mezcla de vermicomposta más tezontle, con un valor de  $2.95 \text{ kg planta}^{-1}$ . La cosecha total por tratamiento fue de 314.1, 312.6 y 177.1 kg, respectivamente (Figura 17). En general, el incremento en rendimiento con respecto a la mezcla de vermicomposta y tezontle negro fue del 77.3% para el suelo con yeso y de 76.5% para el suelo sin yeso.

La variación del rendimiento por cortes se muestra en la (Figura 18), donde se puede observar que la mayor producción de la mezcla de vermicomposta más tezontle en los primeros tres cortes se invirtió hasta quedar con tres cortes menos respecto a la producción en suelo con y sin yeso.



**Figura 17.** Efecto de tratamientos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).



**Figura 18.** Fluctuación del rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).



### **6.8. Uso eficiente de agua (EUA)**

El manejo del riego es importante para conseguir altos rendimientos y alta calidad del producto. La cantidad de agua total aplicada a los tratamientos de vermicomposta con tezontle fue  $7.5 \text{ m}^3$ , mientras que para los tratamientos de suelo más yeso y sin yeso fue de  $11.5 \text{ m}^3$ . La Eficiencia en el Uso del Agua, definida como la relación entre la producción con el volumen de agua utilizado, fue mayor para el tratamiento de suelo con yeso, con un valor de  $27.31 \text{ Kg de fruta /m}^3$  de agua, sin ser diferente significativamente del suelo sin yeso, con un valor de  $27.18 \text{ Kg de fruta /m}^3$  de agua, pero si respecto a la mezcla de vermicomposta con tezontle, cuya EUA fue de  $23.62 \text{ Kg de fruta /m}^3$  de agua.

La mayor producción por metro cubico de agua con la producción directamente en suelo con o sin yeso deben de ser considerados, especialmente en lugares donde este recurso es limitado.

### **6.9. Relación beneficio/costo (R B/C)**

Para las condiciones de producción del presente estudio, la relación B/C para los tratamientos suelo con y sin yeso fueron ligeramente superiores a la unidad, y aunque no permitieron obtener ganancias significativas, tampoco pérdidas económicas, por lo que se consideraron en un punto de equilibrio (Cuadro 4 y 5). Sin embargo, la producción de vermicomposta más tezontle tuvo una relación B/C menor de la unidad, y de forma específica se perdieron 66 centavos por cada peso invertido (Cuadro. 6), principalmente debido a los altos costos de los insumos orgánicos, la baja tecnología del invernadero, el aumento en la mano de obra y la imposibilidad de comercializar los frutos de jitomate como orgánicos.

**Cuadro 4.** Sistema de producción suelo más yeso

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo total
<b>Siembra</b>				
Semilla	Millar	0.06	\$ 1,018.00	\$61.08
Charolas de 38 cavidades	Pieza	1.6	\$12.00	\$19.20
Sustrato	Bulto	0.05	\$306.00	\$15.30
Bactericida orgánico	Litro	0.009	\$270.00	\$2.43
<b>Fertilizantes</b>				
Blue 76	Litro	4	\$ 90.00	\$360.00
Ácidos húmicos	Litro	2	\$25.00	\$50.00
Ferticell	Litro	0.2	\$150.00	\$30.00
<b>Control de plagas y enfermedades</b>				
Solution (Insecticida)	Litro	0.2	\$375.00	\$75.00
Colapso (Fungicida y bactericida)	Litro	0.05	\$385.00	\$19.25
<b>Mano de obra</b>	Jornal	5	\$150.00	\$750.00
<b>Otros</b>				
Agua de riego	m <sup>3</sup>	8.25	\$0.80	\$6.60
Energía eléctrica				\$68.72
Yeso	Kg	4	\$3.00	\$12.00
<b>Total de costos variables</b>				\$1457.58
<b>Depreciación</b> (estructura de invernadero, sistema de riego, plásticos etc.)				\$720.00
<b>Total de costos fijos</b>				\$720.00
<b>Total de costos</b>				\$2189.58
<b>Rendimiento</b>	Kg	314.115	\$7.00	\$2198.80
<b>Relación B/C</b>				1.004

**Cuadro 5.** Sistema de producción suelo (testigo)

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo total
<b>Siembra</b>				
Semilla	Millar	0.06	\$ 1,018.00	\$61.08
Charolas de 38 cavidades	Pieza	1.6	\$12.00	\$19.20
Sustrato	Bulto	0.05	\$306.00	\$15.30
Bactericida orgánico	Litro	0.009	\$270.00	\$2.43
<b>Fertilizantes</b>				
Blue 76	Litro	4	\$ 90.00	\$360.00
Ácidos húmicos	Litro	2	\$25.00	\$50.00
Ferticell	Litro	0.2	\$150.00	\$30.00
<b>Control de plagas y enfermedades</b>				
Solution (Insecticida)	Litro	0.2	\$375.00	\$75.00
Colapso (Fungicida y bactericida)	Litro	0.05	\$385.00	\$19.25
<b>Mano de obra</b>				
	Jornal	5	\$150.00	\$750.00
<b>Otros</b>				
Agua de riego	m <sup>3</sup>	8.25	0.80	\$6.60
Energía eléctrica				\$68.72
<b>Total de costos variables</b>				\$1457.58
<b>Depreciación</b> (estructura de invernadero, sistema de riego, plásticos etc.)				\$720.00
<b>Total de costos fijos</b>				\$720.00
<b>Total de costos</b>				\$2177.58
<b>Rendimiento</b>	Kg	312.615	\$7.00	\$2188.31
<b>Relación B/C</b>				1.005

**Cuadro 6.** Sistema de producción vermicomposta y tezontle

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Costo total
<b>Siembra</b>				
Semilla	Millar	0.06	\$ 1,018.00	\$61.08
Charolas de 38 cavidades	Pieza	1.6	\$12.00	\$19.20
Sustrato	Bulto	0.05	\$306.00	\$15.30
Bactericida orgánico	Litro	0.009	\$270.00	\$2.43
<b>Fertilizantes</b>				
Blue 76	Litro	4	\$ 90.00	\$360.00
Ácidos húmicos	Litro	2	\$25.00	\$50.00
Ferticell	Litro	0.2	\$150.00	\$30.00
<b>Control de plagas y enfermedades</b>				
Solution (Insecticida)	Litro	0.2	\$375.00	\$75.00
Colapso (Fungicida y bactericida)	Litro	0.05	\$385.00	\$19.25
<b>Sustrato</b>				
Vermicomposta	Bulto	6	\$183.33	\$1,100.00
Tezontle	Bulto	6	\$25.00	\$150.00
<b>Mano de obra</b>				
	Jornal	6	\$150.00	\$900.00
<b>Otros</b>				
Agua de riego	m <sup>3</sup>	7	0.80	\$5.60
Energía eléctrica				\$58.31
Bolsas	Kg	3	\$35.00	\$105.00
<b>Total de costos variables</b>				\$2951.17
<b>Depreciación</b> (estructura de invernadero, sistema de riego, plásticos etc.)				\$720.00
<b>Total de costos fijos</b>				\$720.00
<b>Total de costos</b>				\$3671.17
<b>Rendimiento</b>	Kg	177.1285	\$7.00	\$1239.90
<b>Relación B/C</b>				0.34

## VII. CONCLUSIONES

El tezontle negro presentó mejores características físicas que el tezontle rojo, con alrededor de 16% de humedad, una densidad aparente  $0.41 \text{ g/cm}^3$  y una capacidad de campo de alrededor del 41%, en comparación con el tezontle rojo, cuyos valores respectivos fueron 2.8%, 34% y  $0.5 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. Por esta razón se seleccionó como sustrato base para la producción de tomate en este estudio.

La mezcla de vermicomposta y tezontle negro mejoró las propiedades físicas del sustrato base. La proporción 50% tezontle negro y 50% vermicomposta superó en condiciones físicas a las mezclas con 30% y 10% de vermicomposta, y por lo tanto se seleccionó como la mezcla más adecuada para este estudio.

En lo que respecta al vigor de la planta, la mayor altura, longitud de hoja y diámetro de tallo correspondieron a los tratamientos de producción directa en suelo con o sin yeso, comparado con el tratamiento de mezcla de tezontle más vermicomposta. El aumento en estos parámetros fue en promedio de 8.5% para la altura de planta, de 27.7% para la longitud de hoja, y de casi 30% en el diámetro de tallo. Entre los tratamientos de suelo con y sin yeso no existieron diferencias significativas.

El nivel de clorofila en unidades SPAD, fue mayor en los tratamientos de suelos con y sin yeso, con un aumento respecto al tratamiento de tezontle y vermicomposta del 36%. Este resultado, junto con los parámetros anteriores, indican no solo un mayor vigor, sino plantas más saludables.

Respecto a la producción de jitomate por planta, el mejor rendimiento fue el suelo mas yeso con  $5.32 \text{ kg planta}^{-1}$ , seguido por el testigo con  $5.21 \text{ kg planta}^{-1}$  y finalmente la vermicomposta mezclada con tezontle con  $2.95 \text{ kg planta}^{-1}$ . Esto significó un aumento en promedio de alrededor del 78.5% de los tratamientos en suelo respecto al sustrato.

La eficiencia en el uso del agua también fue mayor en los tratamientos de producción directa en suelo. El valor mayor se logró en el tratamiento de suelo más yeso con  $27.31 \text{ Kg de fruta/m}^3$  de agua, seguido por suelo sin yeso con  $27.18 \text{ Kg de}$

fruta/m<sup>3</sup> de agua por último la mezcla de vermicomposta con tezontle, con 23.62 Kg de fruta /m<sup>3</sup> de agua. Asumiendo que no hay diferencia significativa entre los tratamientos del suelo con y sin yeso, el aumento en la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) del suelo respecto al sustrato fue de alrededor del 15%.

La Relación B/C en la producción directa en suelo con y sin yeso se mantuvo en un punto de equilibrio, ligeramente por encima de la unidad, a diferencia de la producción en mezcla de vermicomposta con tezontle, donde se perdieron 66 centavos por cada peso invertido.

La producción de jitomate directamente en suelo, con o sin aplicación de yeso como mejorador, es una alternativa de producción bajo invernadero, con la garantía de una mayor producción, un uso más eficiente del agua y menor riesgo de pérdidas económicas.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. 2006. Cultivos sin suelo. Ediciones de Horticultura. España.43-52 pp.
- Altamirano, Q. y R.A. Aparicio. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alterno en la germinación y crecimiento inicial de pinus Oaxacana mirov. y pinus rudiss en dl. Forestal veracruzana. Vol. 4, no. 001. Universidad veracruzana, Xalapa, México. pp. 35-40.
- Arellano, P. 2002. Evaluación de lana de roca y quitosano en propagación de paltos (*Persea americana*) en contenedor. Ovalle, IV Región. Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología. Facultad de ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. p. 10.
- Artetxe, A.T. y A.I. Beunza. 1995. Relaciones agua-aire en sustratos de cultivo. Servicio de Investigación y Mejora Agraria.
- Ayala, A. y L.A. Valdez. 2008. El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2): 161-167.
- Baixauli, C. y J. Aguilar. 2000. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspecto práctico y experiencias. Ed. Generalitat Valenciana, España. 15-26 pp.
- Bautista, M.N. y L.J. Alvarado. 2006. Producción de jitomate en invernadero. Primera edición. Colegio de posgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México.67 p.
- Bernier, R. y M. Alfaro. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 29 p.
- Bracho, J. F., Pierre y A. Quiroz. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Bioagro 21 (2): 117-124.
- Braeuner, M. y R. Ortiz., C. Mac. 2005. Efectos de la aplicación de cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (*Coffe arabica*) afectados con Mal de Viñas en Guatemala. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 76 p. 17-24.
- Castellanos, J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. INTAGRI. Celaya, Gto., México. 105-129 pp.
- Castellanos, J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero.2<sup>a</sup> edición. INTAGRI. Celaya, Gto., México. pp 107-127.
- Cruz, E., M. Estrada., V. Robledo., R. Osorio., C. Márquez y R. Sánchez. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como

sustrato. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo Art. Internet [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia) 25(1):59-67.

- Cruz, E., R. Osorio., E. Martínez., A. Lozano., A. Gómez y R. Sánchez. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*. Vol. 35, No.2. p 363-368.
- Gambaudo, S., T. Duggan y R. Quaino. 2007. Evaluación de fuentes azufradas en trigo en un suelo argiudol típico del centro de Santa Fé. *AgreFert Argentina S.A.*
- FAO. 2009. Consume la agricultura hasta 90% del agua dulce en algunas naciones:
- Gros, A. y A. Domínguez 1992. *Abonos guía práctica de la fertilización*. 8va. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Gurovich, L.A. 1991. Mejoramientos de los suelos salinizados por riego por goteo en el valle de Copiapó. *Ambiente y Desarrollo*. p. 60.
- INEGI, 2005. Instituto de Estadística Geografía e Informática. Carta Topográfica.
- Jaramillo, J.N. 2007. *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas*.FAO.
- Krugh, B., L. Bichham and D. Miles. 1994. The solidstate chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation. News Letter*, 68:25-27.
- Longo, A y Ferrato. 2005. Incorporación de azufre y yeso en suelo salino-sódico: Su efecto en el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernadero. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 4 (1-2).
- López, P.L., N.R. Cárdenas., P. Lobit., O. Martínez y O. Escalante. 2005. Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28(2): 171-174.
- Márquez, C., P. Cano y N. Rodríguez. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México* Vol. 34. Núm. 1. p. 69-74.
- Márquez, C. y P. Cano. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura* No. 5, Vol. 1: 219-224.
- Miranda, V. y J. Hernández. 2002. *Hidroponía*. Departamento de Preparatoria Agrícola. Serie de publicaciones AGRIBOT 2. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 17-22.
- Montserrat, E.B. 1997. Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. *Revista Horticultura*. No. 125. p. 34.



- Moreno, A. L. Gómez., P. Cano., V. Martínez., J.L. Reyes y N. Rodríguez. 2008. Genotipos de tomate en mezcla de vermicomposta: arena en invernadero. *Terra Latinoamericana* 104 Volumen 26 No. 2
- Moreno, A., P.M.T. Valdés y L.T. Zarate. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicomposta/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura técnica (Chile)* 65 (1):26-34.
- Nielson, H. y R. Sarudian. 2005. *Minerales para la Agricultura en Latinoamericana*. Buenos Aire.
- Ojodeagua, J. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate bajo invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 31 No. 004. Sociedad de Fitogenética, A.C. pp. 367-374. Chapingo, México.
- Penningsfeld, F. y P. Kurzmann. 1975. *Cultivos Hidropónicos y en Turba*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 32-33.
- Pinochet, D., F. Ramírez y D. Suárez. 2005. Evaluación de la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. *Agro Sur*. Vol. 33 No. 1. pp. 29-35.
- Pire, R. y A. Pereira. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. *Propuesta Metodológica. Bioagro* 15(1). p. 56.
- Quesada, R.G. y C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 171-183.
- Rodríguez, M., G. A. González, J. Aguilar, Etchevers y J. Santizó. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16 (2):135-141.
- Rodríguez, N. 2008. Producción de tomate en invernadero con humos de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 31 (3): 265-272.
- Rodríguez, N., P. Cano., U. Figueroa., E. Favela., A. Moreno., C. Márquez., E. Ochoa y P. Preciado. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. Vol. 27. No. 4. p. 320.
- Rucoba, A., A. Anchondo., C. Luján y J.M. Olivas. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua. Universidad Autónoma de la Laguna Torreón, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* Vol. 19.
- Urbina, E. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  o  $Mg^{2+}$  y diferente granulometría.
- Urrestarazu, M, J., M.C. Soler., J. Salas., I. Muro., Irigoyen y R. Salazar. 2005. La fibra de pino como sustrato cultivo sin suelo de plantas hortícolas.

Agrociencia, julio-agosto, año/vol. 40, No. 004. Colegio de Postgraduados Texcoco, México. pp. 419-429.

- Usabiaga, A.J. 2005. La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. INIFAP. Centro de investigación regional del centro. Campo experimental bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto Técnico Núm. 1.
- Vargas, P. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México Vol. 34 Núm. 3. pp. 323-331.
- Vargas, P. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 31 (4): 375 – 381, 2008.
- Velasco, E. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. Revista Chapingo Serie Hortícola 10(2): 239-246.
- Velasco, E. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de fitotecnia. Texcoco, México. 21 p.
- Velázquez, M. 2007. Manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero. Edición UACH-Departamento de preparatoria Agrícola. 41-75 pp.
- Zérega, L. y M. Adams. 1991. Efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico del estado Carabobo bajo condiciones de invernadero. Caña de Azúcar. Vol. 9(02): 110-126.

## IX. ANEXOS

### ANOVA de altura de planta

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
<b>Model</b>	2	3588.52125	1794.26063	18.00685	2.6431E-7
<b>Error</b>	90	8967.8896	99.64322		
<b>Total</b>	92	12556.41085			

### Prueba Tukey

T	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
<b>2*</b> <b>1*</b>	- 14.74341	2.55926	8.14701	3.11711E- 7	0.05	1	- 20.84239	-8.64442
<b>3*</b> <b>1*</b>	-4.07091	2.55926	2.24953	0.25491	0.05	0	- 10.16989	2.02808
<b>3*</b> <b>2*</b>	10.6725	2.49554	6.04808	1.38572E- 4	0.05	1	4.72538	16.61962

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.

Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

T= Tratamientos

1\*= Suelo más yeso

2\*= Vermicomposta más tezontle

3\*=Testigo (Suelo)

### ANOVA de longitud de hoja

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
<b>Model</b>	2	1371.55652	685.77826	136.46938	0
<b>Error</b>	93	467.33837	5.02514		
<b>Total</b>	95	1838.89489			

### Prueba Tukey

T	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
<b>2*</b> <b>1*</b>	-7.60078	0.56042	19.18046	0	0.05	1	-8.9356	- 6.26596
<b>3*</b> <b>1*</b>	0.77812	0.56042	1.96359	0.35107	0.05	0	- 0.55669	2.11294
<b>3*</b> <b>2*</b>	8.37891	0.56042	21.14405	0	0.05	1	7.04409	9.71372

**Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.**  
**Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.**

T= Tratamientos

1\*= Suelo más yeso

2\*= Vermicomposta más tezontle

3\*=Testigo (Suelo)

### ANOVA de diámetro de tallo

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
<b>Model</b>	2	116.70027	58.35014	75.1404	0
<b>Error</b>	90	69.88933	0.77655		
<b>Total</b>	92	186.58961			

### Prueba Tukey

T	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2*	-2.21807	0.22593	13.88399	0	0.05	1	-	-
1*							2.75648	1.67965
3*	0.24855	0.22593	1.55579	0.5165	0.05	0	-	0.78696
1*							0.28987	
3*	2.46661	0.2203	15.83405	0	0.05	1	1.94161	2.99162
2*								

**Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.**

**Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.**

T= Tratamientos

1\* = Suelo más yeso

2\*= Vermicomposta más tezontle

3\*=Testigo (Suelo)

### ANOVA de nivel de clorofila

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
<b>Model</b>	2	11041.21542	5520.60771	157.48761	0
<b>Error</b>	285	9990.45713	35.05424		
<b>Total</b>	287	21031.67255			

### Prueba Tukey

T	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2* 1*	12.74245	0.85457	21.08717	0	0.05	1	10.72907	14.75583
3* 1*	13.49453	0.85457	22.33177	0	0.05	1	11.48115	15.50791
3* 2*	0.75208	0.85457	1.2446	0.65332	0.05	0	-1.2613	2.76547

**Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.**

**Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.**

T= Tratamientos

1\*= Vermicomposta más tezontle

2\*= Suelo más yeso

3\*=Testigo (Suelo)

### Clases de los dos últimos cortes de jitomate

Tratamiento	Número de frutos de jitomate	Clase	Rendimiento(Kg)
Testigo	176	Primera	25.725
	268	Segunda	30.381
	115	Tercera	8.775
Suelo más yeso	167	Primera	24.55
	236	Segunda	27.32
	102	Tercera	8.115

**Nota:** La ficha técnica de la variedad Loreto indica peso por fruto de 100-125 grs. Por apariencia del tamaño de los frutos se consideraron las siguientes clases: Primera > 125 grs, segunda (100-125 grs) y tercera < 100 grs.

### Diámetro polar y ecuatorial de frutos en jitomate

Tratamiento	Diámetro polar (mm)			Diámetro ecuatorial (mm)		
	Clase			Clase		
	Primera	Segunda	Tercera	Primera	Segunda	Tercera
<b>Testigo</b>	67.6	63.1	55.4	59.3	53.8	47.5
<b>Suelo más yeso</b>	69.7	62.7	58.5	60.2	53.9	48.3

**Nota:** Se promediaron diez frutos de jitomate de cada clase al azar por tratamiento para conocer diámetro polar y ecuatorial.