

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**OPTIMIZACIÓN DE RIEGOS PARA TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill) CON VERMICOMPOST
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**

PRESENTA:

ELVIA CARREÓN SALDIVAR

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Optimización de riegos para tomate (*Lycopersicon esculentum*
Mill) con vermicompost bajo condiciones de invernadero

por

ELVIA CARREÓN SALDIVAR

TESIS

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:

Dr. Alejandro Moreno Reséndez
ASESOR PRINCIPAL

Ing. Juan de Dios Ruíz de la Rosa
ASESOR

Ing. Heriberto Quirarte Ramírez
ASESOR

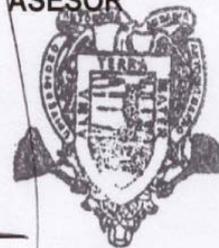
Ing. Eliseo Raygoza Sánchez
ASESOR

ME. Víctor Martínez Cueto

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2009



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

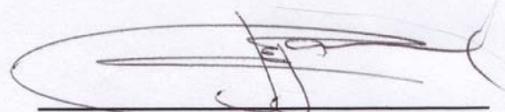
Optimización de riegos para tomate (*Lycopersicon esculentum*
Mill) con vermicompost bajo condiciones de invernadero

TESIS QUE PRESENTA:

ELVIA CARREÓN SALDIVAR

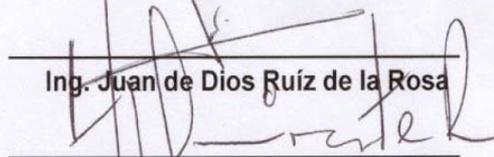
QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE:



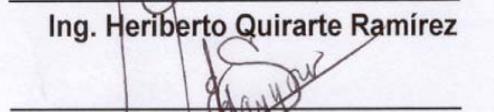
Dr. Alejandro Moreno Reséndez

VOCAL:



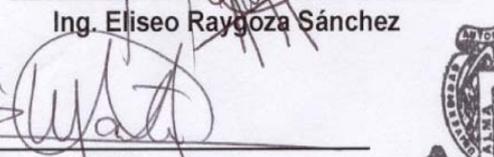
Ing. Juan de Dios Ruíz de la Rosa

VOCAL:

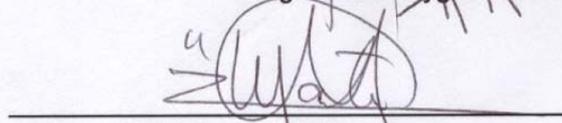


Ing. Heriberto Quirarte Ramírez

VOCAL SUPLENTE:



Ing. Eliseo Raygoza Sánchez



ME. Víctor Martínez Cueto



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2009

AGRADECIMIENTOS

A la “Virgen de Guadalupe” y La “Virgen Santísima de la Luz”

Por ser mi fortaleza, la luz en mí camino, gracias por ser mi inspiración y paz para poder lograr culminar mis estudios.

A mi “Alma Terra Mater” por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional, cambiar mi manera de pensar y por darme la oportunidad de ser un BUITRE.

Al Dr. Alejandro Moreno Reséndez por asesorarme en el establecimiento, desarrollo de este proyecto, por a ver compartido sus conocimientos y consejos así como su amistad.

Al Ing. Juan De Dios Ruiz de la Rosa y al Ing. Heriberto Quirarte Ramírez por su apoyo y asesorarme durante el desarrollo del experimento y brindarme además de sus conocimientos su amistad.

Dr. Eduardo Madero Tamargo por brindarme sus conocimientos y consejos durante mi formación, por ser mas que un excelente profesor un gran amigo, por todo su apoyo mil gracias.

A todos los maestros del departamento por a ver contribuido con sus conocimientos en mi formación como profesionalista.

A mis amigos Celia Xalpa, Gaby, Rita, Ceci y David gracias por su gran y sincera amistad por su apoyo incondicional y por estar conmigo en los momento mas difíciles, a si como en los mejores momentos de mi carrera.

A ti José Iván Bastarachea Fonseca (†) por a ver sido el mejor amigo gracias por tu amistad y apoyo en los momentos más difíciles de mi vida, aunque ya no estás conmigo porque Dios así dispuso de llevarte a su lado, siempre estarás en mi corazón.

DEDICATORIA

A “Dios” y “La Virgen de Juquila”

Por darme la dicha de vivir, por ser mi paz, aliento espiritual con el que pude salir adelante y por cobijarme bajo su manto.

A mis padres

Evencio Carreón Hoyos y Ernestina Saldivar Romero

Gracias por ser los mejores padres del mundo, por darme la vida, comprenderme, apoyarme en todo momento, por ser mi mayor orgullo y ser el motivo de seguir adelante, sin ustedes no lo hubiera logrado.

A mis hermanos, Rubén, Yeni, Evencio, Alfredo, Nayeli y Gonzalo por apoyarme en todo momento, ser los mejores hermanos del mundo y formar parte de mi vida. Los Quiero Mucho

A mis sobrinos Arnold, Yareni, Nestor, Miguel, Esmeralda, Chimis, Diego y Marely por que con su presencia han llenado de felicidad nuestros corazones.

A mis abuelitos

Modesto Saldivar Balderas y Aurelia Saldivar Gómez

Gonzalo Carreón Romero y Natalia Hoyos Hernández

Gracias por todo su amor, cariño, consejos, enseñanzas y por ser tan maravillosas personas.

A mi novio **José Alejandro Arenas Peralta**, por estar conmigo, apoyándome en todos los momentos difíciles, de tristeza, de alegría, de logros; por ser esa persona tan especial en mi vida, por todo el amor y cariño que me haz brindado. Muchas Gracias Amor.

RESUMEN

A nivel mundial, recientemente, se ha dado un incremento en la preocupación de los consumidores por la inocuidad de los alimentos, debido principalmente a la aparición de nuevos patógenos que afectan al hombre y a los cambios en las interacciones entre los humanos y los animales que propician la transmisión de enfermedades hacia los seres vivos. Esto ha propiciado que la producción orgánica de alimentos se haya convertido en una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas de fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutricional.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes mezclas de vermicompost y arena de río sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos y la humedad durante el desarrollo de tomate bajo condiciones de invernadero.

El experimento se realizó dentro de las instalaciones de la UAAAN Unidad Laguna durante los ciclos Verano-Otoño-Invierno del 2008. Los cuatro tratamientos fueron distribuidos con un diseño completamente al azar. Los tratamientos evaluados fueron: 1) T0 arena 100% del volumen + y fertilizada con solución nutritiva, 2) T1 mezcla de VC:arena (1:1), 3) T2 mezcla de VC:arena (1:2) y 4) T3 mezcla de VC:arena (1:3) con ocho repeticiones. La siembra se realizó el 8 de junio, en charolas germinadoras de 200 celdillas, se utilizó Peat Most como sustrato para germinación, el trasplante se realizó el 13 de julio del 2008 en macetas de plástico negro de 20 L. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, grosor del tallo, número de nudos y calidad del fruto, al realizar el análisis de varianza y detectar diferencia se realizó la comparación de medias con la prueba Diferencia Mínima Significativa (DMS, 5%).

Los rendimientos más altos se presentaron en el T1 con $50.29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ seguido del testigo T0 con diferencia a favor del primero de 365 kg. Además, de esta variable se estableció que cuatro variables presentaron diferencia significativa; número de frutos, diámetro polar, espesor de pulpa, número de lóculos

presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.01$), diámetro polar ($P \leq 0.05$), a favor del tratamiento T1 (VC:arena relación 1:1), mientras que para la variable sólidos solubles, altura y nudos de la planta presentaron diferencia a favor del T0 (VC:arena 0:1). Para las variables peso de fruto y grosor de tallo, no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos

Los resultados sugieren que el vermicompost posee características, físicas y químicas, que permiten el desarrollo del genotipo de tomate con características superiores a los de la solución nutritiva en una relación de 1:1 VC:arena.

Palabras clave: Inocuidad, producción orgánica, cultivo protegido, abonos orgánicos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis:.....	3
1.3 Metas.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Generalidades del tomate.....	4
2.2 Origen.....	4
2.3 Clasificación taxonómica	4
2.4 Descripción botánica	5
2.4.1 Planta	5
2.4.2 Variedades de tomate	5
2.4.3 Raíz.....	6
2.4.4 Tallo.....	6
2.4.5 Semilla.....	6
2.4.6 Hojas	7
2.5.1 Densidad de población	8
2.5.2 Germinación	8
2.5.3 Trasplante	9
2.5.4 Entutorado.....	9
2.5.5 Poda y eliminación de chupones.....	9
2.5.6 Deshoje	10
2.5.7 Raleo	10
2.5.8 Bajado de planta	11
2.6 Polinización	11
2.7 Riego	12
2.8 Fertirrigación.....	14
2.9 Control de plagas y enfermedades	15

2.9.1 Plagas	15
2.9.2 Principales Enfermedades.....	17
2.10 Invernadero	18
2.10.1 Ventajas de los invernaderos	19
2.10.2 Desventajas.....	20
2.11 Sustratos	21
2.11.1 ¿Que es un sustrato?.....	21
2.11.2 Propiedades físicas	21
2.11.3 Propiedades químicas	23
2.12 Clasificación de los sustratos.....	25
2.12.1 Sustratos inorgánicos.....	25
2.12.2 Sustratos orgánicos.....	27
2.13 Importancia de abonos orgánicos.....	30
2.14 Importancia de producción orgánica.....	32
2.15 Producción de tomate en invernadero en México.....	33
2.16 Antecedentes de la producción de tomate en invernadero con abonos orgánicos.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Localización Geográfica de la Comarca Lagunera	36
3.2 Ubicación de instalaciones	36
3.3 Descripción de instalaciones	36
3.4 Material utilizado.....	37
3.5 Manejo y desarrollo del cultivo	37
3.5.1 Siembra	37
3.5.2 Trasplante	38
3.5.3 Podas	38
3.5.4 Entutorado.....	38
3.6 Polinización	39
3.7 Control de plagas y enfermedades	39
3.7.1 Plagas que se presentaron y su control	39
3.7.2 Enfermedades que se presentaron y su control.....	39

3.8 Riego	40
3.9 Variables evaluadas	41
3.10 Análisis estadístico	42
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Valores de crecimiento	43
4.1.1 Altura de planta	43
4.1.2 Número de nudos	45
4.1.3 Grosor de tallo	46
4.4 Valores de calidad	47
4.4.1 Rendimiento	48
4.4.2 Peso de frutos	49
4.4.3 Número de frutos	50
4.4.4 Diámetro Polar	50
4.4.5 Diámetro ecuatorial	51
4.4.6 Sólidos Solubles	52
4.4.7 Espesor de la pulpa	52
4.4.8 Número de lóculos	53
4.4.9 Color del fruto	54
V. CONCLUSIONES	56
VII. LITERATURA CITADA	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Composición química de la vermicompost.....	31
Cuadro 3.1 Mezclas de vermicompost y arena en relación a volumen para los tratamientos evaluados UAAAN-UL 2008.....	37
Cuadro 3.2 Volumen de agua aplicas durante las diferentes etapas del desarrollo fisiológico de la planta. UAAAN-UL 2008.....	40
Cuadro 3.3 Solución nutritiva empleada en la fertirrigación del cultivo en el tratamiento testigo. UAAAN-UL, 2008	41
Cuadro 4.1 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable altura. 43	
Cuadro 4.2 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable numero de nudos.	45
Cuadro 4.3 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable grosor de tallo.	47
Cuadro 4.4 Rendimiento en Toneladas por hectárea y otros caracteres del tomate determinados bajo diferentes componentes de VC y arena en el cultivo del tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.). UAAAN-UL 2008	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Incremento de la altura (ddt) de las plantas de tomate en los diferentes tratamientos.	44
Figura 4.2. Aparición de nudos (ddt), durante el desarrollo fisiológico de la planta en los diferentes tratamientos.	46
Figura 4.3. Crecimiento del grosor de tallo (ddt), durante el desarrollo fisiológico de la planta en los diferentes tratamientos	47

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, recientemente, se ha dado un incremento en la preocupación de los consumidores por la inocuidad de los alimentos, debido a: a) el consumo creciente de frutas y hortalizas, como resultado en el cambio de la dieta alimenticia, a causa de los problemas de salud y obesidad; b) la intensificación e industrialización de la agricultura; c) el incremento en la resistencia de las bacterias a los antimicrobiales; d) la aparición de nuevos patógenos que afectan la salud del hombre; e) el aumento de las alergias; f) el crecimiento del gasto en alimentos fuera del hogar; g) la disposición durante todo el año de vegetales mínimamente procesados; h) la crisis constante de alimentos contaminados que han provocado la muerte de personas; i) los cambios en las interacciones entre los humanos y los animales que propician la transmisión de enfermedades hacia los seres vivos (Léos-Rodríguez *et al.*, 2008). Lo anterior ha propiciado que la producción orgánica de alimentos se haya convertido en una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutricional (Márquez-Hernández *et al.*, 2008).

Por otro lado, los desechos generados por el hombre son un gran problema que lleva mucho tiempo afectando a las ciudades, principalmente en países desarrollados, debido a los enormes volúmenes que se producen de estos.

El reciclaje de los residuos permite la conversión de desechos orgánicos en productos de valor añadido como el compost, el biogás, el vermicompost (VC) y otros (Fauziah y Agamuthu, 2009).

Con respecto a la reutilización de los residuos o desechos, es necesario señalar que, desde tiempos inmemorables, la lombriz fue señalada como el animal ecológico por definición (Bravo-Varas, 1996). En relación a esta actividad, se conoce que las lombrices utilizan los residuos y/o desechos orgánicos, de origen animal, vegetal, industrial y humano, como fuente de energía para su

metabolismo y después generan deyecciones, mismas que por su contenido se convierten en un abono ecológico de alta calidad, denominado vermicompost (VC) o humus de lombriz (Fauziah y Agamuthu, 2009). Debido a la calidad de este material Bravo-Varas (1996) estableció que este producto es un abono orgánico con características propias, que lo hacen prácticamente insuperable, ya que puede incrementar hasta en un 300% el rendimiento de los cultivos hortícolas y de otras especies vegetales.

La aplicación del vermicompost al suelo aporta elementos nutritivos y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos, y huminas) (Duran y Henríquez, 2007).

Por otro lado, para que el agricultor pueda tener una certificación que lo avale como productor de alimentos orgánicos, tiene que pasar por un cierto periodo de (3 hasta 5 años) para que su suelo esté apto para producir y ser certificado como orgánico; este tiempo es el que tardan la mayoría de las sustancias y/o compuestos químicos nocivos en degradarse (Gómez *et al.*, 1999; Gewin, 2004). Sin embargo, el uso de un sustrato orgánico para la producción en invernadero podría reducir considerablemente este periodo de transición o lo podría evitar (Márquez-Hernández *et al.*, 2006) El sustrato, además de sostén deberá de aportar los elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo. Para lo anterior, una alternativa que, recientemente, se ha estado evaluado a nivel experimental es mezclar VC con un medio inerte (Castillo *et al.*, 2000).

Por lo anterior el presente trabajo está enfocado en obtener los niveles óptimos de mezclas de VC con arena para satisfacer las necesidades del cultivo de tomate además de un nivel óptimo de riego ya que el VC retiene humedad siendo esta característica una gran alternativa para la producción en lugares con escasas de agua, todo esto sin afectar la calidad del tomate.

1.1 Objetivos

General

Evaluar el efecto de diferentes mezclas de vermicompost y arena de río sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos y la humedad durante el desarrollo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero.

Específicos:

- a) Establecer el nivel óptimo de la mezcla de vermicompost y arena que satisfaga las necesidades nutricionales del tomate sin afectar su calidad comercial.
- b) Determinar el volumen óptimo de agua por aplicar a las mezclas de vermicompost y arena para satisfacer las necesidades hídricas del tomate.

1.2 Hipótesis:

El vermicompost, aplicado a diferentes niveles, satisface las necesidades nutricionales y el suministro de humedad requerida por el cultivo de tomate que se desarrolla bajo condiciones de invernadero.

1.3 Metas

Generar recomendaciones sobre nutrición de tomate con aplicación de vermicompost y manejo de riego en invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del tomate

2.2 Origen

El tomate cultivado (*Lycopersicon esculentum* Mill), es originario de la región Andina, la cual se extiende desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile, y al parecer fue en México donde se domesticó esta especie (Linares-Ontiveros, 2004).

Esquinas y Nuez (1999), señalan que el vocablo tomate procede del náhuatl tomatl, aplicado generalmente para plantas con frutos globosos o bayas, con muchas semillas y pulpa acuosa. El tomate en la América precolombina, a la llegada de los españoles a América, formaba parte de los pequeños huertos de hortalizas del área Mesoamericana sin que su importancia económica fuera grande. Actualmente en el centro de México sigue utilizándose la palabra jitomate para aludir al fruto *Lycopersicon esculentum* Mill., y el del tomate para *Physalis philadelphica* Lam.

2.3 Clasificación taxonómica

De acuerdo con Esquinas y Nuez (1999), la clasificación taxonómica del tomate es de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Espermatofita

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Dicotiledoneas

Orden: Solanales (personatae)

Familia: Solanaceae

Subfamilia: Solanoideae
Tribu: Solaneae
Género: *Lycopersicum*
Especie: *esculentum*, Mill.

2.4 Descripción botánica

2.4.1 Planta

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva de forma anual y puede desarrollarse de forma rastrera, semi-erecta o erecta (Chamarro-Lapueta, 1999).

2.4.2 Variedades de tomate

Las variedades comerciales de esta especie se eligen de acuerdo a la región donde se va a producir el tomate, seleccionando la semilla de genotipos híbridos, con hábito de crecimiento determinado o indeterminado, que generen plántulas con un porcentaje de germinación adecuado, vigor, resistencia a plagas, enfermedades y altos rendimientos (Nuño-Moreno, 2007).

Por hábito de crecimiento de la planta, de acuerdo con Nuño-Moreno (2007), los híbridos se clasifican como:

- **Crecimiento determinado.** Son plantas arbustivas, con un tamaño de planta definido, donde en cada extremo del crecimiento aparece una yema floral, tienen períodos restringidos de floración y cuajado. El tamaño de la planta varía según el cultivar, ya que se pueden encontrar plantas compactas, medianas y largas: para las dos últimas clasificaciones se requiere utilizar tutores.
- **Crecimiento indeterminado.** Son plantas cuyo crecimiento vegetativo es continuo, pudiendo alcanzar, su tallo principal, hasta más de 12 m de

largo si es manejado a un solo eje de crecimiento, las inflorescencias aparecen lateralmente en el tallo. Éstas florecen y cuajan uniformemente. En este tipo de plantas los brotes laterales se eliminan y el tallo generalmente se enreda en torno a un hilo de soporte. Este tipo de hábito es el preferido para cultivarse en invernaderos.

2.4.3 Raíz

La función de la raíz es la absorción y transporte de elementos nutritivos, así como el anclaje de la planta al suelo. El sistema radical está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias. Internamente tienen bien diferenciadas tres zonas: la epidermis, el cortex y el cilindro central o vascular (Chamarro-Lapuerta, 1999).

2.4.4 Tallo

El tallo es el eje sobre el cual se desarrollan las hojas, flores y frutos; el diámetro puede ser de 2 a 4 cm y el porte puede ser de crecimiento determinado (tallos que al alcanzar un determinado número de ramilletes detienen su crecimiento) e indeterminado (tallos que no detienen su crecimiento). Los tallos son pubescentes en toda su superficie. En las axilas de las hojas del tallo principal surgen los tallos secundarios que son eliminados mediante poda para una la formación de la planta. La eliminación de estos brotes debe ser oportuna, sobre todo el brote inmediato inferior al racimo, el cual surge con gran vigor (Berenguer, 2003).

2.4.5 Semilla

La semilla del tomate es de forma lenticular, con un diámetro de 3 a 5 mm, está constituida por el embrión, el endospermo y la testa. El embrión a su vez, está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula (Namesny, 2004).

2.4.6 Hojas

Las hojas del tomate son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene aproximadamente 0.5 m de largo, algo menos de anchura, con un gran foliolo terminal y hasta ocho grandes folíolos terminales, que pueden a su vez ser compuestos. Los folíolos son usualmente peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Las hojas están cubiertas de pelos del mismo tipo que los del tallo (Namesny, 2004).

2.4.7 Estructura floral

El tomate es una planta hermafrodita que presenta flores bisexuales en forma de racimo simple, en la base de la planta o ramificado en la parte superior. Las flores son pequeñas, pedunculadas de color amarillo, formando corimbos axilares; corola soldada interiormente, con cinco pétalos que conforman un tubo pequeño, los cinco estambres están soldados, el estilo a veces sobresale de los estambres y de un ovario bi o pluricelular. El número de flores depende del tipo de tomate. En tomates de grueso calibre el ramillete tiene de 4 - 6 flores; en tomates de calibre mediano se aumenta de 10 – 12 flores por ramillete y en los tomates tipo cereza o cherry no es extraño que se desarrollen hasta 100 flores por racimo (Berenguer, 2003).

2.4.8 Los frutos

Los frutos son de color rojo o amarillo. Su forma puede ser redonda o alargada, achatada o en forma de pera, con semillas en su interior envueltas en una pulpa gelatinosa. El color rojo o naranja del tomate se debe a su contenido de caroteno (que le da el color amarillo) y licopeno (le da el color rojo). Pero el color no tiene relación con el sabor ácido o dulce del tomate, obteniéndose estas propiedades, mas bien, con una temperatura y una nutrición adecuadas (Urrestarazu-Gavilan, 2004).

2.5 Manejo del cultivo

2.5.1 Densidad de población

En los invernaderos, por lo general, la densidad de población oscila entre 2 y 4 plantas•m⁻², dependiendo del vigor de la variedad, de la fertilidad del sustrato y de la salinidad, tanto del suelo como del agua de riego. En el caso de que la fertilidad no sea muy elevada o que el nivel de salinidad sí lo sea, la densidad de población deberá ser de 3.5 a 4 plantas•m⁻², mientras que en condiciones optimas de fertilidad sería de 2.5 plantas•m⁻². En circunstancias especiales puede recurrirse a una densidad de población eleva de 6 a 8 plantas•m⁻², con el fin de obtener un rendimiento adecuado en un período de tiempo corto (FAO, 2002a).

2.5.2 Germinación

Para este proceso se utilizan charolas de germinación rellenas con sustratos, principalmente Peat Moss; la semilla debe quedar sembrada a una profundidad mínima de 1 a 2 cm bajo la superficie del sustrato; el riego se debe aplicar periódicamente y en forma de aspersion o gota fina (Urrestarazu-Gavilan, 2004). Durante la germinación pueden distinguirse tres etapas, en la primera, que dura unas 12 h se produce una rápida absorción de agua por la semilla, la siguiente un periodo de reposo de unos 40 h durante el cual no se observa ningún cambio en la anatomía ni en la actividad metabólica de la semilla. Posteriormente, la semilla comienza a absorber agua de nuevo, iniciando la etapa de crecimiento asociada con la emergencia de la radícula (Chamarro-Lapuerta, 1999).

2.5.3 Trasplante

Una vez que la planta ha brotado, continua alimentándose de las reservas contenidas en las semillas, pasando de 5 a 7 días, se fortalece y comienza a efectuar la fotosíntesis y a alimentarse por sí misma cuando aparecen las hojas verdaderas o bien ha alcanzado de 8 a 10 cm de altura, al llegar transcurrir este período es el momento de colocarla en el sitio de desarrollo definitivo. El trasplante se realiza con el objeto de contar con el número de plantas requeridas y en el lugar deseado, aprovechando, semillas al máximo (Samperio-Ruiz, 2004). El trasplante puede hacerse en líneas individuales (1 x 0.25 a 0.4 m), o en líneas pareadas (1.2 x 0.8 x 0.25 a 0.4 m) (FAO, 2002a).

2.5.4 Entutorado

Los híbridos de crecimiento indeterminado tienen que ser atados con cuerdas sujetas con abrazaderas de plástico. Por un lado, las cuerdas deberán atarse a la estructura del invernadero, enrollándose una cantidad extra de caída en un gancho de alambre denominado "tomahook". Por el otro lado, la cuerda debe estar acoplada a la base de la planta mediante una abrazadera o simplemente, atado a una vuelta floja alrededor del tallo, por debajo de una hoja sana. La cuerda siempre está girando alrededor del tallo en el mismo sentido. Las plantas deberán fijarse a la cuerda para mantenerlas erguidas. Con este método las plantas pueden manipularse sin problemas gracias a la cuerda adicional disponible (Strange, 2000).

2.5.5 Poda y eliminación de chupones

Los chupones son los pequeños brotes que crecen entre el tallo principal y los peciolos de las hojas, debiendo ser eliminados antes de que se desarrollen demasiado, pues tomarían parte de los elementos nutritivos que son requeridos por los frutos. Estas estructuras fisiológicas deberán quitarse cuando alcancen una longitud de 2.5 a 5 cm. Los chupones son frágiles y pueden arrancarse con

los dedos sin causar daño en la zona axilar, quitar chupones a mano presenta mucho menos peligro de transmisión de enfermedades que al efectuarlo con la navaja. Cuando los chupones están muy desarrollados habría que cortarlos con tijeras de podar o navaja (Linares-Ontiveros, 2004).

2.5.6 Deshoje

Conforme las plantas maduran, y se cosechan los frutos de los racimos mas inferiores, las hojas antiguas situadas en esta zona comenzaran a amarillar y morir debiendo ser eliminadas para permitir una mejor ventilación y reducir, de esta forma, la humedad relativa en la base de la planta. Esta operación se puede llevar a cabo en el momento en que se haya terminado la recolección de los frutos del segundo racimo, a partir de este momento se quitarán las hojas que vayan amarillando conforme maduran los racimos superiores, eliminándolas simplemente con los dedos para evitar al máximo dejar tocones pues el riesgo de colonización de los tejidos por hongos es evidente (Howard, 2001).

Cuando el cultivo presenta un vigor excesivo se recomienda hacer un entresaque de hojas. Se eliminarán aquellas que cubren a los frutos, evitando eliminar el foliolo que esta enfrente del racimo (Namesny 2004).

2.5.7 Raleo

Los racimos florales del tomate deberán podarse para seleccionar los 4 o 5 frutos cuajados más uniformes de cada racimo. Cualquier flor deforme, fruto doble o flor tardía debe ser eliminada de esta estructura fisiológica. Esto da lugar a que la forma, el tamaño y el color de los tomates sean uniformes (Linares-Ontiveros, 2004).

2.5.8 Bajado de planta

Conforme las plantas de tomate alcancen la parte superior de los cables de soporte se pueden ir aflojando las cuerdas bajándoles, aproximadamente, 0.5 m cada vez y al no existir hojas viejas ni frutos en la base del tallo se puede ir dejando caer éstos sobre la banca o sobre los postes o alambres de soporte (Howard, 2001).

2.6 Polinización

Es la acción que propicia el intercambio de polen entre flores diferentes o dentro de ellas mismas. Este hecho permite la fecundación que da lugar a que la flor se convierta en fruto. Existen varias formas de lograr la polinización: a través de insectos como abejorros; movimiento de las plantas manualmente o con un vibrador electrónico, o por la acción del viento. Si se usa vibrador es conveniente aplicarlo dos veces a la semana, durante el tiempo que dure la floración (Urrestarazu-Gavilan, 2004).

En los invernaderos el aire aplicado con compresores es suficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, sin embargo, también resulta necesario realizar la vibración de los racimos florales para obtener una polinización adecuada (Nuño-Moreno, 2007). La vibración puede efectuarse moviendo las flores con un palo, con los dedos o con unos vibradores electrónicos, parecidos a un cepillo de dientes electrónico al que se le hayan quitado las cerdas. Los vibradores se acercan de 2 a 3 s, las ramas portadoras de los racimos florales, pudiendo observarse a las salidas de las flores, un fino polen amarillo cuando son favorables las condiciones ambientales y éstas se encuentran en estado receptivo. La polinización deberá efectuarse mientras que las flores se encuentran en estado receptivo, lo cual se conoce por que los pétalos se doblan hacia abajo. Las plantas deberán polinizarse al menos cada dos días, puesto que las flores permanecen receptivas unas cuarenta y ocho horas,

efectuándose entre las 11.00 y las 15:00 horas en días soleados, para obtener los mejores resultados (Howard, 2001).

La humedad relativa del 70 % es la mejor para la polinización, cuajado de fruto, y posterior desarrollo de éste. Una humedad más elevada guarda el polen húmedo y pegadizo con excepción del medio día, y disminuye la posibilidad de que se transfiera suficiente cantidad de polen desde las anteras hacia el estigma (Samperio-Ruiz, 2004)

2.7 Riego

La disponibilidad de agua es un factor importante que influye en la nutrición de los vegetales y su calidad (Urrestarazu-Gavilan, 2004). El tomate presenta tres períodos críticos de necesidad hídrica: emergencia de plántulas, floración, y cuando los frutos han alcanzado una quinta parte de su crecimiento (González-Meza y Hernández-Leos, 2000).

La cantidad total de agua que necesita un cultivo protegido de tomate es muy variable ya que depende del tipo de cultivo, del ciclo y calendario, del suelo, de la región y del clima. El riego localizado permite una utilización mucho más eficaz del agua, produciéndose un desarrollo adecuado del cultivo con un menor consumo de este recurso. Por otro lado, el exceso de agua provoca la asfixia de las raíces, lo que a su vez causa deficiencias de Mg, P y N junto con la caída de flores. En cambio, una carencia de agua aumenta la salinidad lo que conlleva la necrosis apical del fruto. Cuando se producen alternancias de exceso y déficit de agua el resultado es el agrietamiento de los frutos (FAO, 2002a).

Para evitar los problemas antes descritos, los riegos deben aplicarse ayudándose de un tensiómetro o bien revisando el contenido de humedad del sustrato. Cuando la planta está en plena floración hay que moderar el riego, que

aumentará al momento de cuajado de los frutos y entrar en producción. Es conveniente aumentar poco a poco los riegos a medida que crece la planta. Al disminuir la cosecha, también se debe restringir el volumen de riego, sobre todo si se desea que los frutos maduren más rápidamente (Samperio-Ruiz, 2004).

La deficiencia de humedad en el suelo ha mostrado influencia en el contenido de ácido ascórbico en los vegetales. En tomate una mayor disponibilidad del agua incrementa el color de los frutos, el tamaño y la acidez; pero disminuye la concentración de sólidos solubles. Los altos contenidos de agua en tomate inciden negativamente en la condición del fruto, evitando ser más compacto, reducen su resistencia al transporte y su vida comercial. Se ha comprobado que un estrés relativo de agua promueve la translocación de fotoasimilados en el fruto incrementando la calidad de los mismos. Si bien la producción de los frutos disminuye, la concentración de sólidos solubles, cuantificados en grados Brix, se incrementa con el estrés hídrico. Un aporte adicional del riego disminuye la firmeza del fruto de tomate, tanto con piel como sin ella. Cuando las plantas son cultivadas con déficit de riego, se reduce la producción, tamaño y contenido de agua en el fruto, pero por el contrario, la intensidad de color y azúcares solubles aumentan (Urrestarazu-Gavilan, 2004).

El tiempo entre los ciclos de riego depende de un gran número de factores, entre los que se incluye el tipo de sustrato utilizado para el cultivo. En los cultivos que emplean arena y aserrín como sustrato serán suficientes algunos riegos al día, en sustratos con grava éstos se deberán repetir con pocas horas de intervalo, mientras que exista luz solar. Después del trasplante se regará cada dos horas durante 15 minutos mientras exista luz diurna, a lo largo de las dos primeras semanas, hasta que las plantas estén asentadas, es decir, hasta que las raíces comiencen a crecer fuera del cepellón de turba alcanzado el medio de crecimiento, lo que se caracterizará por un fuerte desarrollo foliar. La frecuencia y la duración de los ciclos de riego dependen en gran parte de las características de retención de agua del sustrato. Después de esto, pueden ser

convenientes 5 a 10 ciclos de riego por día, dependiendo de las condiciones ambientales y del estado de crecimiento de la planta (Howard, 2001).

2.8 Fertirrigación

La fertirrigación es el método por excelencia de aplicación de agua y fertilizantes, cuando se hace de forma adecuada puede maximizar la utilización de los elementos nutritivos por las plantas y minimizar el potencial de pérdida de éstos por debajo de la zona radical. El fertirriego, ha permitido aumentos importantes de la productividad de los cultivos, lo que se traduce en un mejor control y aprovechamiento del agua y los elementos nutritivos, donde ya no se habla de agua y elementos nutritivos, sino de riego y nutrición, de balance hídrico y nutricional (Lorenzo-Montero, 2008).

Con esta metodología los elementos nutritivos, esenciales para el desarrollo de las especies vegetales, se pueden aplicar en la cantidad, proporción y forma química requerida por las plantas según su etapa fenológica, ritmo de crecimiento y acumulación de materia seca, de tal manera que se logre a corto y largo plazo altos rendimientos con calidad y el mantenimiento de un adecuado nivel de fertilidad general en el suelo o sustrato utilizado. El balanceo de los elementos nutritivos es el arte de manipular a todos aquellos elementos minerales, orgánicos y agua, requeridos por los cultivos hortícolas, ordenando y proporcionando éstos conforme a las necesidades fisiológicas de la planta según su etapa fisiológica (Navarro-García, 2002).

La solución nutritiva se aplica en todos los riegos, sin tener alternancia con agua sola. La concentración de fertilizantes varía según el estado fenológico de la planta. Los elementos mayores como Nitrógeno, Fósforo y Potasio se suministran a partir de los fertilizantes como Nitrato de Calcio, Nitrato de Magnesio, Sulfato de Magnesio y Potasio, Ácido Fosfórico. Se cuida en especial el suministro de los microelementos que son esenciales para el amarre, firmeza

y calidad de frutos, todos suministrados por el sistema de riego. Se inicia la fertirrigación aplicando el fertilizante triple 17 (17-17-17) que tiene una relación 1:1:1 mas ácido fosfórico en la etapa de trasplante a primera floración. En etapa de formación de fruto se disminuye el nitrógeno y se incrementa potasio, fósforo, calcio y magnesio (Nuño-Moreno, 2007).

Por la importancia que representa la solución nutritiva para la planta, se deberá evitar que falte, pues aunque fuera solo temporalmente, ello podría provocar una detención en su crecimiento (Samperio-Ruíz, 2004).

En el tomate se debe aplicar un mayor número de riegos, al igual que la mayor cantidad de agua aplicada, en la fase de floración – fructificación, precisamente cuando el cultivo requiere mayor consumo para la formación de los frutos (Duarte *et al.*, 2006). En estudios anteriores se tiene una frecuencia de aplicación de seis riegos diarios con una duración de 4 minutos por riego en verano y cinco riegos de 3 minutos en invierno, procurando no regar muy tarde para evitar la incidencia de enfermedades en las plantas por exceso de humedad en las raíces. Es recomendable aplicar un riego semanal pesado con agua sin elementos nutritivos para evitar acumulación de sales en la superficie del sustrato, el cual consiste en aplicar agua a las macetas en volumen tal que se genere un lavado al sustrato (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2006).

2.9 Control de plagas y enfermedades

2.9.1 Plagas

Para el cultivo de tomate, dentro del invernadero, se pueden llegar a presentar principalmente las siguientes plagas, las cuales, si se presentan y no se logran controlar, se pueden generar daños severos sobre este cultivo

Mosquita blanca (*Bemisia tabaci* y *B. argentifolii*). Son insectos de 1.0 a 1.5 mm de largo, en forma de palomilla, de cuerpo amarillo claro y alas blancas

cubiertas finamente de cera. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas jóvenes. Las ninfas pasan por cuatro estadios en una a dos semanas, de las cuales solo el primero es móvil y se le denomina larva, el último no se alimenta, por lo que se llama pupa; son ovaladas, planas, translúcidas y de color amarillo verdoso, alcanzando una longitud de 0.7 mm. Adultos y ninfas succionan la savia debilitando a la planta, además de transmitir enfermedades virales; excretan mielecilla donde se desarrolla la fumagina que interfiere con la fotosíntesis y contamina los frutos (Acosta-Rodríguez *et al.*, 2002).

Control: para el manejo adecuado de la mosquita blanca de manera preventiva se debe utilizar malla anti-afidos para cubrir los invernaderos por donde se realiza la ventilación; uso de barreras físicas bandas amarillas de plástico con pegamento Pegafin 50, rodeando los lotes; otra manera de control es el utilizar jabones agrícolas como: M-Pede ($1.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) SAP ($1.0\text{-}2.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$), foca ($1.25 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Schuster, 2001). Así como hongos entomopatogenos, como: *Verticillium lecanii*, *Paecilomyces fumosoroseus* y *Beauveria bassiana* (Caro, 2001)

El trips occidental de las flores (*Frankliniella occidentalis*). Su amplia distribución, su capacidad de multiplicación, su polifagia y la elevada eficiencia que muestran, en la transmisión del virus del bronceado del tomate, hacen que el insecto, constituido en plaga, sea uno de los principales azotes de los cultivos hortícolas. Las hembras son de mayor tamaño que los machos; éstos son mas delgados, esbeltos, de coloración uniformemente clara y con el extremo del abdomen truncado. Los daños producidas por las larvas y los adultos, al alimentarse, son similares a los que origina *Trips tabaci* y su manifestación no difiere cual sea el órgano afectado. Puede ocasionar daño al realizar la puesta en los frutos pequeños. La hembra introduce el oviscapto en el tejido vegetal y deja el huevo con el polo anterior justo al nivel de la epidermis (Lacasa-Plasencia y Contreras-Gallego, 1999).

Control: para realizar el control de los trips se han utilizado depredadores como el acaro Fitoseido: *Amblyseius barkeri* (Hughes) y los heterópteros: *Orius*

minutus (Linneo) y *Orius niger* (wolf). También se han utilizado algunos miridos depredadores generalistas como *Macrolophus calliginosus* (Wagner), *Nesidiocaris tenuis* (Reuter) y *Dicyphus tamanini* (Wanger) (Rodríguez-Rodríguez y Rodríguez-Rodríguez, 2004).

2.9.2 Principales Enfermedades

Las enfermedades para el cultivo de tomate, dentro del invernadero representan un gran problema si éstas no son controladas a tiempo, ya que pueden terminar con el cultivo una vez que encontraron las condiciones necesarias para desarrollarse. Las principales enfermedades que se presentan son:

Cenicilla (*Leveillula taurica*). Tiene micelio que penetra dentro del tejido vegetal en forma intercelular, conidias alargadas, conidióforos frecuentemente con ramas. La fase sexual o conidial (*Oidiopsis taurica*) se caracteriza por formar micelio endofítico, conidióforos hialinos, simples, septados, a veces en grupos de dos a tres conidios individuales (Ramírez-Rojas *et al.*, 2001). Los primeros síntomas de esta enfermedad ocurren en las hojas más inferiores como manchas verde amarillentas casi circulares en el haz de la hoja, en el envés se forma una vellosidad blanca (conidioforos y conidios). El centro de la lesión se deshidrata y torna café. Las manchas coalescen y pueden dañar la hoja completa, la hoja se marchita y muere pero permanece unida al tallo (Messiaen *et al.*, 1995).

Las condiciones favorables para el desarrollo de la cenicilla son, temperaturas de los 10 a 35 °C (una vez establecida la infección, las temperaturas alrededor de los 30 °C pueden acelerar el desarrollo y los síntomas, así como la muerte del tejido) y una humedad relativa del 50 al 75%, en general, se requiere alta humedad para la germinación de los conidios, que puede estar dada por el rocío de la noche. Bajo condiciones favorables, la enfermedad producirá nuevas infecciones cada 7 a 10 días diseminándose rápidamente (Nava -Camberos *et al.*, 2005).

Tizón temprano (*Alternaria solani*). Sánchez (2001) menciona que ésta es una de las enfermedades más importantes del cultivo de tomate debido a que puede afectarlo en cualquier etapa de su desarrollo. El patógeno inverna en tejidos de cosecha que permanecen en el suelo, los conidios germinan a temperaturas entre 24-29 °C, con ambiente húmedo y lluvioso. Los primeros síntomas ocurren en las hojas más viejas, y consisten en pequeñas lesiones irregulares color café oscuro, en cuyo interior se forman anillos concéntricos, debido a la resistencia que presenta la planta para detener el avance de la infección. Típicamente las lesiones se rodean de un color amarillo, debido a la producción de toxinas; y cuando las lesiones son numerosas se pueden unir, destruyendo el tejido foliar, afectando la calidad y cantidad de la fruta. El método más efectivo está basado en la aplicación oportuna de fungicidas preventivos.

2.10 Invernadero

Un invernadero es el tipo de construcción que permita cultivar, germinar, desarrollar y cosechar todo tipo de vegetales en un ambiente controlado, dentro de esta estructura se pueden crear micro climas para controlar: temperatura, humedad, radiación solar, etc., (González-Caballero, 2009). La función de los invernaderos es la de modificar total o parcialmente aquellas condiciones de clima que son adversas, además de aplicar agua y fertilizantes de acuerdo al estado de desarrollo de las plantas; esto se traduce en incrementos significativos de producción, tanto en cantidad como en calidad (Espinosa-Zapata, 2004). En consecuencia, en los invernaderos las plantas pueden pasar todo su ciclo protegidas y generalmente cuentan con un diseño y equipamiento que permite un mayor grado de control sobre los factores ambientales que limitan la producción (Bastida-Tapia, 2008).

El tamaño, forma, orientación, material de estructura y de cubierta y el equipamiento de los invernaderos dependen de los requerimientos ambientales

de la especie que se quiera cultivar, las condiciones ambientales prevalecientes, el grado de control que se pretende lograr sobre el microclima del cultivo y las posibilidades económicas del productor y/o la redituabilidad potencial de la especie a cultivar (Espinosa-Zapata, 2004). Las dimensiones son muy variables siendo las más comunes de 30 a 100 m de largo, de 10 a 40 m de ancho y de 3 a 5 m de alto. La estructura suele ser metálica o de madera; las cubiertas pueden ser de vidrio, acrílico, policarbonato o poliéster-fibra de vidrio, pero las más utilizadas son películas de polietileno o PVC tratados con inhibidores de la radiación ultravioleta (Sánchez-Del Castillo, 2008).

2.10.1 Ventajas de los invernaderos

Según Sánchez-Del Castillo (2008), el uso de invernaderos presenta varias ventajas tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

- Ventajas técnicas:
 - Control de las heladas y las bajas temperaturas
 - Manejo de la insolación y las altas temperaturas
 - Reducen la intensidad de los vientos
 - Control de los excesos de humedad y las enfermedades causadas por los mismos.
 - Previene daños por granizo.
 - Manejo de las plagas del suelo, transmitidas por malezas o diseminadas a través del aire.
 - Control de CO₂
- Ventajas económicas:
 - Alto rendimiento en cultivos de alto valor económico
 - Mayor calidad y sanidad, lo que significa mayor precio de venta
 - Producir cultivos de alto valor en regiones donde anteriormente era arriesgado o no posible debido a limitantes ambientales o a problemas de plagas o enfermedades
 - Producir varias cosechas por año

- Programar las producciones para fechas donde el mercado ofrece los mejores precios.
- Tener mayor seguridad de éxito en el cultivo, pues en estas condiciones no se depende tanto de los fenómenos meteorológicos.
- Acercar geográficamente las unidades de producción al mercado de consumo bajando notablemente los costos de transporte, pues los invernaderos ocupan poca superficie y se pueden ubicar prácticamente en cualquier localidad del País.
- Producir intensivamente en pequeñas superficies, lo que permite su instalación en pequeños planos de terrenos accidentados o bien permite justificar el costo de hacer terrazas.

2.10.2 Desventajas

Por otro lado, Bastida-Tapia, (2008), menciona que un invernadero presenta las siguientes desventajas:

:

- Altos costos de instalación y operación
- Desconocimiento del diseño adecuado
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo del suelo
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo de clima
- Necesidad de mercado seguro
- Solo rentable para especies de alto valor

Se debe tener en cuenta que si bien, las condiciones ambientales dentro del invernadero son favorables a las plantas para que expresen su potencial de producción, también son favorables para la presencia y daño por plagas y enfermedades, por lo cual se deben implementar medidas preventivas y correctivas, pues plagas y/o enfermedades pueden acabar con el cultivo en su totalidad en un corto espacio de tiempo (Espinosa-Zapata, 2004).

2.11 Sustratos

2.11.1 ¿Que es un sustrato?

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado, en un contenedor en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para las plantas (Calderón, 2003).

2.11.2 Propiedades físicas

Las características físicas de los sustratos son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinarán la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz. Un aspecto que se debe tener en consideración al referirse a las características físicas de un sustrato, es la imposibilidad de modificar alguna de estas propiedades posteriormente a la colocación de la planta dentro del contenedor (Calderón, 2005). Las principales propiedades físicas que se necesitan determinar en un sustrato para caracterizarlo son: densidad aparente, densidad real, granulometría, porosidad total, porosidad de aire, capacidad de retención de humedad (Díaz-Serrano, 2004).

Densidad aparente. Se define como la masa de una sustancia dividida entre el volumen que ocupa $d = \frac{m}{v}$. La densidad aparente se encuentra inversamente relacionada con la porosidad de un material; a mayor densidad, se tendrá menor espacio poroso y viceversa. Para el cultivo de hortalizas en invernadero se prefiere utilizar sustratos con densidades aparentes bajas ($< 0.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), especialmente por el costo en el transporte y el manejo del mismo en el invernadero (Florián-Martínez, 1997).

Densidad real. Es el peso del sustrato entre el volumen que realmente ocupa, es decir el peso del sustrato sin tomar en cuenta el volumen de poros que existe dentro y entre las partículas del sustrato y entre el sustrato y las paredes del contenedor. Se determina por picnometría, desplazando el aire del sustrato con agua (Soto-Bravo, 2007).

Granulometría: Es la determinación de la distribución de tamaños de las partículas que conforman un sustrato. La forma de la gran mayoría de las partículas de los sustratos no es esférica ni presenta un tamaño único, por lo que en la práctica la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de la partícula y viceversa. De acuerdo al tamaño de partícula es el tamaño de los poros externos formados por los espacios interparticulares, por lo que con frecuencia se ha intentado relacionar la granulometría con la porosidad y a su vez con la capacidad de retención de humedad (Díaz-Serrano, 2004).

Capacidad de Retención de Agua: El agua cumple un papel fundamental en la dinámica del continuo sustrato-planta- atmósfera, debido a su participación en la mayoría de los procesos metabólicos de la planta. Junto con esto, el agua favorece la penetración de las raíces, a través de la lubricación del sustrato, y permite la absorción de los elementos nutritivos (Calderón, 2005).

La retención de humedad por el sustrato en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determinará la posibilidad de la planta de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas. La retención es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen. La retención de humedad en peso indica la cantidad de agua que es capaz de retener un kilogramo de sustrato, mientras que la retención de humedad expresada en volumen indica la cantidad de humedad que puede retener la unidad de volumen del sustrato. La densidad aparente es la cantidad de humedad retenida y medida usualmente en centibares y para sustratos se mide en centímetros de agua (Calderón-Sáenz y Cevallos, 2001).

Espacio poroso: Es la porción no sólida del volumen del sustrato (Pire y Pereira, 2003). La porosidad total está repartida entre aquel espacio ocupado por agua y aire. El espacio poroso total no solamente es generado por el acomodo de las partículas, sino que también algunas partículas tienen poros internos, los cuales pueden estar conectados a la porosidad externa o estar cerrados; éstos últimos no son efectivos para almacenar aire o agua disponibles para la planta. La porosidad total puede determinarse a través de su medida directa en el contenedor, saturándolo con agua. El volumen de agua utilizado para saturarlo equivale a la porosidad total (Velasco-Hernández, 2004).

2.11.3 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato; reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales, reacción de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (Urrestarazu-Gavilan, 2004).

Materia Orgánica y Ceniza: La determinación de materia orgánica y ceniza en un sustrato orgánico, sirve entre otras cosas para calcular la relación carbono/nitrógeno y para conocer algunas otras características como la capacidad de retención de agua y elementos nutritivos. La determinación de carbono orgánico en la muestra se puede estimar multiplicando el contenido de materia orgánica (%) por 1.82, que es un factor empírico para estimar este parámetro basado en la determinación de ceniza (Burés, 1997).

pH: El pH ejerce efectos muy importantes sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos en el sustrato, así como sobre su capacidad de intercambio catiónico y su actividad biológica (Bunt, 1988; Raviv *et al.*, 2004). Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993). Cuando el pH del sustrato es menor a 5.0 en los cultivos pueden presentarse deficiencias de K, Ca, Mg, y B, mientras que

por encima de 6.5 puede disminuir la disponibilidad de Fe, Mn, Zn y Cu. En el caso de algunos sustratos orgánicos como la turba, que tiene en forma natural un pH muy ácido, éste debe de ser neutralizado con carbonato de calcio para poder ser usado como sustrato (Abad-Berjon, 1999).

Algunos materiales pueden ser acidificantes o provocar una reacción básica en la solución, como ocurre con la lana de roca al principio del cultivo, lo que se corrige aportando una solución nutritiva más ácida al inicio del cultivo (Castilla, 2005).

Salinidad: Algunos sustratos contienen una salinidad muy elevada, como es el caso de la fibra de coco. En la actualidad la mayoría de la fibra de coco que se comercializa ha pasado por un proceso de lavado hasta reducir su salinidad a menos de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Sin embargo estas fibras de coco llegan al productor a un costo muy elevado y la salinidad se puede eliminar simplemente mediante un proceso de lavado en los mismos contenedores previo a la siembra de las plántulas en el invernadero. Las condiciones de manejo del riego y drenaje también pueden incrementar la salinidad en el sustrato, lo cual ocurre cuando se manejan fracciones de drenaje por debajo del 20-30% y en tal caso la solución es el lavado del sustrato (Castellanos, 2004).

La salinidad en los sustratos puede alterarse por un desequilibrio entre absorción (más lixiviación) y aportes de los elementos nutritivos que contiene la solución nutritiva o por la elevada CIC del sustrato, por lo que el seguimiento de la CE de la solución es imprescindible (Baixauli-Soria y Aguilar-Olivert, 2002).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Se define como la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso o de volumen del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente a la lixiviación del agua y están disponibles para la planta (Urrestarazu-Gavilan, 2004).

Los sustratos con CIC nula o muy baja serán los más adecuados para la producción de cultivos. La CIC es importante en sustratos orgánicos y conviene

antes de usar el sustrato aportes de calcio, a fin de minimizarla, para que no altere la disponibilidad de elementos nutritivos programada en la fertirrigación. En general, un buen sustrato debe tener una buena estabilidad química, que evite cualquier liberación de elementos que puede generar problemas de salinidad o fitotoxicidad, o inducir en la solución precipitaciones indeseables (Castilla, 2005).

El valor óptimo de la CIC de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula CIC. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada a elevada CIC, en todo caso superior a $20 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo (Abad-Berjon, 1999).

2.12 Clasificación de los sustratos

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales. Los componentes orgánicos más populares incluyen: musgo de turba, productos de madera (corteza, aserrín, virutas), compost de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuete, etc., (Iskander-Cabrera, 2002).

2.12.1 Sustratos inorgánicos

Dentro de los sustratos inorgánicos se encuentran los de origen mineral no metálico, como los liberados de roca, ya sea grava de río o triturada, arena, tezontle (que llegan a tener una capacidad de retención de humedad de hasta

30-40.5 de su volumen). Bien en su estado natural o sometido a un tratamiento para modificar su estructura, que los hace más porosos, ligeros e inertes uniformes. Entre los más utilizados destacan: la lana de roca, perlita, la agrolita, la vermiculita, la arcilla expandida y la esponja. Los sustratos de origen sintéticos, como los polímeros, poliuretanos y acrílicos son químicamente inertes (Samperio-Ruíz, 2004).

Arena: La arena es un material inerte que se emplea en la confección de mezclas para sustratos artificiales. El tipo de arena que mejor va en estas mezclas es la de silicio, de tamaño muy fino, las arenas que pueden utilizarse son las de río, de yacimientos y de playa (López-Martínez *et al.*, 2007).

Piedra pómez: Es una piedra de origen volcánico que se forma semejando, espuma en la superficie de la lava, inerte y porosa por naturaleza. En su composición entra el sílice, hierro y magnesio. Su retención de humedad puede variar desde el 20 al 30 % de su volumen total, por lo que permite la aireación y un buen drenado de la solución (Segura-Catruita *et al.*, 2008).

Perlita: Es un material que procede de la lava volcánica sometida a un proceso de modificación estructural mediante temperaturas elevadas. Los diminutos conglomerados esponjosos son de 2 a 5 mm de diámetro, de color blanco. Este material es muy ligero (densidad de $0.1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, aproximadamente) y con una gran retención para el agua (hasta 3 o 4 veces su peso). Es un producto inerte, carente de elementos nutritivos que no es capaz de intercambiar iones, ni influir en el pH (López-Martínez *et a.*, 2007).

Grava: Está formada por granito molido cuyas partículas tienen un diámetro que oscila entre 0.1 - 6 mm las más finas, a 1.9 cm las mayores. Para su empleo en horticultura se recomienda atender dos aspectos, su contenido de carbonato de calcio total no superior al 10%, y su distribución granulométrica, debido al efecto de la misma sobre la disponibilidad de agua y de aire. La grava que no contiene carbonato de calcio tienen una 0.10 inferior a $5 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de

suelo, pero es conveniente someterla a un lavado ácido antes del cultivo, para eliminar contenidos minerales que pueden liberarse lentamente de modo incontrolado. Entre las ventajas más importantes de la grava está su bajo costo, su estabilidad estructural, facilidad de limpieza y de tratamiento desinfectante, inactividad química en el caso de materiales no calcáreos y sus inconvenientes son su alta densidad, que dificulta el manejo y su baja retención de agua (Florián-Martínez, 1997). El cultivo en sustratos con grava fue la técnica más ampliamente utilizadas desde los años 40 a los 60 (Howard, 2001).

Vermiculita: Este producto es un silicato de magnesio, que contiene hierro y aluminio; su estructura es laminar de estratos paralelos, preparándose en forma de diminutas escamas. La composición centesimal de este producto es: anhídrido silícico, 39.4 %; Al_2O_3 12.1 %; magnesio, 23.4 %; potasio, 23 %; manganeso, 0.3 %. Las principales características de la vermiculita industrializada son: densidad $0.15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; volumen de poros 10 a 15 veces mayor que el volumen del producto en si, por lo que tiene una retención grande para el agua que llega a 5 veces su peso; pH es variable (López-Martínez *et al.*, 2007).

2.12.2 Sustratos orgánicos

Se definen como orgánicos, o químicamente activos, todos aquellos materiales que por su origen están sujetos a descomposición, es decir, liberan los elementos nutritivos de que están constituidos (Leblanc *et al.*, 2007). Así las turbas negra y rubia, la cascarilla de arroz y de trigo, la cáscara de almendra, el aserrín, la fibra de coco, la paja de algunos cereales, el compost y aquellas otras que poseen elementos nutritivos asimilables por la planta en pequeñas cantidades. (Félix-Herran *et al.*, 2008).

Dentro de los sustratos orgánicos, sobresalen el compost y el vermicompost, debido a que sus procesos de elaboración incluyen métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto

relativamente estable (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, al incorporarlos mejoran las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto-Garibay *et al.*, 2002) y como sustrato para cultivos en invernadero que no contamina el ambiente (De la Cruz-Lázaro *et al.* 2009).

Fermentaciones: Se descomponen aeróbicamente residuos orgánicos, por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los mismos residuos. Las fermentaciones por lactobacilos son muy limpias, se puede usar como inóculo para bocashi, agua miel, entre otras; el tepache se puede aplicar en el agua de riego, teniendo en cuenta la dosis adecuada porque si está muy concentrado puede ser un herbicida muy fuerte, pero si está bien diluido ayuda al desarrollo de las plantas. También se pueden hacer fermentaciones de cáscaras de frutas para obtener aminoácidos libres, que también se pueden aplicar en el agua de riego para mejorar el desarrollo de la planta. En sí las fermentaciones disminuyen la carga eléctrica de las soluciones, los microorganismos (levaduras, lactobacilos, entre otros) transforman los materiales y los dejan en complejos parcialmente estables listos para ser absorbidos por las plantas (Felix-Herran *et al.*, 2008).

Fibra de coco: Son cáscaras de coco triturados con un molino de martillo hasta que tengan el tamaño de un grano de café. A los cocos no se les quita las fibras, de forma que éstas aumentan su porosidad (Howard, 2001). Se utiliza como sustrato hortícola, mejorador del suelo. Se comercializa como ladrillos comprimidos que hay que re hidratar (Urrestarau-Galvan, 2004).

Compost: Es materia orgánica vegetal (restos de comida, hojas, cáscara de fruta, etc.) o de origen animal en descomposición aerobia con aumento de temperatura (mínima de al menos 55 °C) y permanece en un mínimo de 3 días

(NOSB, 2002). Después de este proceso se convierte en un abono rico en elementos nutritivos y con muchos microorganismos que resultan muy positivos para los suelos (López-Martínez *et al.*, 2007).

El compost mejora la estructura física del suelo, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad a largo plazo de los elementos nutritivos (Ryan, 2003). Además proporciona alta cantidad de elementos nutritivos de los principales elementos presentes: 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, el primer año solo se mineraliza el 11% generándose una deficiencia de este elemento (Márquez-Hernández *et al.*, 2007).

Vermicompost, humus de lombriz o lombricompost: es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de la lombriz (Aira *et al.*, 2001; Velasco-Velasco *et al.*, 2003), generando un material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, y facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo y favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas. Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favoreciendo la CIC de los suelos (Gajalakshmi *et al.*, 2001; Moreno-Reséndez *et al.*, 2004).

Las lombrices son factores importantes del proceso de acondicionamiento del sustrato y la alteración de la actividad biológica (Singhn *et al.*, 2005). El vermicomposteo, es realizado por la acción de diversas especies de lombrices, por medio de este proceso, las lombrices mantienen condiciones aeróbicas en los residuos orgánicos, ingieren sólidos, convierten una porción de estos

residuos orgánicos en biomasa y productos de la respiración y excretan un producto que permanece parcialmente estabilizado llamado vermicompost (Elvira *et al.*, 1998).

El vermicompost contiene la mayor parte de los elementos nutritivos en forma disponible para las plantas, tales como nitratos, fosfatos, calcio intercambiable, potasio soluble, etc. y tiene un área superficial particularmente grande que proporciona muchos micros sitios para la actividad microbiana y para la fuerte retención de elementos nutritivos (Sharma *et al.*, 2005; Ramírez-Villapudua, 2009). Los reguladores de crecimiento de la planta y otros materiales que afectan este crecimiento como: auxinas, sustancias humitas, etc., generadas por los microorganismos, han sido reportadas como componentes del vermicomposteo (Sharma *et al.*, 2005). De acuerdo con Ramírez-Villapudua (2009) la composición química del VC se presenta en el cuadro 2-1.

2.13 Importancia de abonos orgánicos

Dos de los componentes importantes en la materia orgánica son los ácidos húmicos y fúlvicos los cuales son los responsables de muchas de las mejoras que ejerce el humus, las sustancias húmicas elevan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos arcilla-húmicos, forman complejos fosfo-húmicos manteniendo el fósforo en un estado asimilable por la planta. Otro beneficio de la materia orgánica humificada es su potencial para controlar poblaciones de patógenos del suelo (Matheus *et al.*, 2007).

Cuadro 2.1 Composición química de la vermicompost

Elemento	Contenido
C:N	7:01
M.O	23.4%
Carbono orgánico	11.66%
Nitrógeno total	1.96%
Nitrógeno N-NO ₃ ⁻	65.00 ppm
Nitrógeno (N-NH ₄ ⁺)	0.09 ppm
Fosforo P ₂ O ₅	2.28%
Azufre (S-SO ₄ ⁻²)	0.65%
Potasio (K ₂ O)	2.66%
Calcio	4.09%
Sodio	0.68%
Magnesio	0.97%
Cloruros	0.28%
Fierro	2.18%
Cobre	94.00 ppm
Zinc	670.00 ppm
Manganeso	710.00 ppm
Boro	95.00 ppm

Fuente: Ramírez-Villapudua 2009.

Félix-Herran *et al.* (2008) establecen que al incorporar estos abonos se ejercerán distintos efectos en el suelo como son:

- a. Mejoran la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad de éstos, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos y disminuye esta en suelos arcillosos, mejora la retención de humedad del suelo y la capacidad de retención de agua, estimula el desarrollo de plantas.
- b. Incrementan y regulan la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial.

- c. Su acción quelante contribuye a disminuir los riesgos carenciales y favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) para la planta.
- d. Aportan elementos minerales en bajas cantidades, y es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo.

2.14 Importancia de producción orgánica

La importancia de la agricultura orgánica para la economía es que permite diversificar otro tipo de actividades económicas complementarias, e inclusive suplementarias en el sector agrícola. Además, contribuye a disminuir los costos de producción porque utiliza insumos naturales que pueden ser generados por el mismo agricultor, provocando así mayores incrementos en la utilidad en comparación a la agricultura tradicional. La producción de alimentos orgánicos es un recurso potencial para diversificar las exportaciones y consecuentemente generar divisas, para la estabilidad macroeconómica de México (Acuña *et al.*, 2002).

Hoy en día, el mercado orgánico está en plena expansión, con nuevas cuestiones que surgen, normas y procedimientos de certificación en continuo desarrollo (FAO 2002b). Por ejemplo, el tomate orgánico ocupa diez veces menos superficie y alcanza una cotización diez veces mayor que la de cultivo convencional (Navejas-Jiménez, 2002).

La FAO (2005), señala que México es reconocido en el mundo como productor-exportador orgánico, más que un consumidor. Existen 262 zonas de producción en 28 de los 32 estados del país, donde se producen más de 40 productos diferentes. Los estados con mayor área de producción son Chiapas (42%), Oaxaca (27%) y Michoacán (5%).

El cultivo más importante es el café con 70,383 ha (69%), seguido por maíz blanco y azul con 4,670 ha (4.5%) y ajonjolí con 4,124 ha (4.0%). Existen 3,831 ha cultivadas con vegetales (tomates, chiles, calabazas, pepinillo, cebolla, ajo,

frijol, melón, etc.). Los productores orgánicos pertenecen a dos grupos: productores a pequeña escala, de bajos ingresos, campesinos e indígenas con superficies pequeñas (2.25 ha en promedio) que se organizan en cooperativas, lo que facilita la certificación y el comercio. En el otro grupo se encuentran los productores a gran escala que son compañías privadas que tienen 100 a 2,000 ha (150 ha en promedio) que operan independientemente. Los productores a pequeña escala son el 98.6% del total con un total de 84.1% de la superficie total y generan el 68.8% del capital por venta. El mercado interno es pequeño, menos del 5% de la producción se vende en tiendas de alimentos saludables, y tiendas especializadas en ciudades grandes como México, Monterrey y Guadalajara. El mercado de productos orgánicos no se ha desarrollado por el limitado conocimiento de los consumidores sobre productos orgánicos (FAO, 2005).

2.15 Producción de tomate en invernadero en México

México es el principal proveedor de frutas y hortalizas frescas con que cuenta Estados Unidos; en el 2007 proveyó el 58.4% del valor total de las importaciones norteamericanas de hortalizas y el 27.0% del total de las frutas (Léos- Rodríguez *et al.*, 2008).

México es el mayor productor y consumidor *per cápita* de tomate fresco en América del Norte. La industria mexicana de tomate de invernadero también se caracteriza por mucho por una mayor diversidad geográfica y tecnológica en relación con sus socios del TLCAN (Cook y Calvin, 2005). En el 2007, las exportaciones Mexicanas de tomate a los Estados Unidos representaron el 78.7% del total de los valores de la compra que de este producto, efectuó Norteamérica a todo el mundo (Léos- Rodríguez *et al.*, 2008).

En los últimos 10 años la composición de ventas de tomates frescos en EUA ha cambiado favoreciendo a los producidos en invernadero los cuales ahora

participan con el 37% del total. En Canadá con el 89% y en México 2%. Los tomates de invernadero son preferidos por el mercado detallista y se concentran en dos tipos roma y bola. Los productores de México aprovechan la venta de invierno (noviembre-abril) y los canadienses se concentran en verano (marzo-diciembre). México es el país que cuenta con mayor superficie y que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años. EUA y Canadá han frenado su crecimiento en razón del incremento de los costos de la mano de obra y los combustibles (Lamas, 2009).

El volumen de las exportaciones de tomate se ha mantenido más o menos estable, con un promedio de 586 mil toneladas anuales, que representan aproximadamente 52 millones de cajas de tomate de 25 libras que se exportan anualmente. Sin embargo, en el aspecto del valor, se observa una constante variación que coloca el precio del tomate en 763 dólares por tonelada (de Santiago, 2001).

La producción de tomate en invernadero, incluyendo diversas tecnologías de agricultura protegida es, sin lugar a dudas, una de las oportunidades de inversión más rentables y de mayor futuro en México. Sin embargo, un proyecto de inversión en esta línea, indudablemente ganadora, debe contener todos los elementos que el exigente mercado internacional está fijando para retribuir con los precios adecuados los productos de esta actividad (Cook y Calvin, 2005).

2.16 Antecedentes de la producción de tomate en invernadero con abonos orgánicos

Estudios reportados por Atiyeh *et al.* (2000a) al sustituir el medio de crecimiento comercial Metro-Mix 360 con 20% de vermicompost de estiércol de cerdo, además de mejorar el crecimiento de las plántulas de tomate, también lograron incrementar significativamente el rendimiento de este cultivo en invernadero, con una producción de $5.1 \text{ kg}\cdot\text{planta}^{-1}$, superando en un 58% más alto que el testigo con Metro-Mix 360 sin vermicompost.

De acuerdo con Navejas-Jiménez (2002) la producción orgánica de tomate en Baja California ocupa 10 veces menos superficie, pero genera diez veces más divisas. En el experimento donde Tüzel et al. (2002) quienes evaluaron fertilizantes orgánicos en tomate bajo condiciones de invernadero obtuvieron rendimientos de 93.7 y 106.7 t·ha⁻¹.

De igual manera Rodríguez y Jiménez (2002) en un estudio realizado para evaluar la producción de tomate en invernadero, en el ciclo otoño-invierno, encontraron diferencias significativas para todas las variables evaluadas; en el caso de rendimiento, este fluctuó entre 87.6 y 100.1 t·ha⁻¹. Rangos en los que se encuentra los obtenidos por Tuzel y Yagmar (2003) quienes señalan que se obtienen rendimientos de tomate orgánico en invernadero de 59 a 90 t·ha⁻¹ en otoño, mientras que en primavera obtuvieron de 126 a 162 t·ha⁻¹.

Otros estudios son los reportados por Márquez-Hernández *et al.* (2007) en la evaluación de sustratos orgánicos para la producción de tomate orgánico reportan una producción de 91.42 t·ha⁻¹ con abonos orgánicos. En estudios más recientes Cun *et al.* (2008) con la variedad HA 3019 obtuvieron rendimientos de 5.01 kg·m⁻² y de la Cruz *et al.* (2009) en la producción de tomate con vermicompost y compost en el híbrido Sun-7705 obtuvieron un rendimiento de 39.811 t·ha⁻¹.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización Geográfica de la Comarca Lagunera

La Región Lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México, se encuentra ubicada entre los meridianos 101°40' y 26°54' de Latitud Norte. La altitud de esta región sobre el nivel del mar es 1,139 m; la región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan tres aéreas agrícolas, así como las áreas urbanas (Schmidt, 1989).

3.2 Ubicación de instalaciones

El experimento se estableció en Verano-Otoño-Invierno del 2008, utilizando la variedad de tomate Sun-7705 en el invernadero del Departamento de Horticultura dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad-Laguna la cual se localiza sobre el Km 1.5 del periférico Raúl López Sánchez, Torreón, Coahuila México.

3.3 Descripción de instalaciones

El invernadero es semicircular, posee cubierta de acrílico reforzado, pared húmeda, extractores y riego por goteo, piso de grava, y mide 8 x 23 m, ancho y largo, respectivamente. Cuenta con ventanas laterales de 1.20 m de alto, que también se cubren con acrílico, el cual se puede enrollar, y están protegidas con malla antiáfido. La cubierta de acrílico se protege con malla sombra durante las estaciones del año más calurosas.

3.4 Material utilizado

Los materiales usados fueron: arena de río y vermicompost de los cuales se realizaron mezclas en relación a volumen, cuyas propiedades se presentan en el cuadro (3-1), a las cuales se realizaron análisis químicos (determinando los elementos nutritivos macro y microelementos, CIC, materia orgánica) (cuadro A-1 del apéndice) y físicos (pH, conductividad eléctrica, textura y densidad aparente) (cuadro A-2 del apéndice), presentes los cuales son aprovechados por la planta para realizar su desarrollo fisiológico y sin afectar la calidad comercial del tomate.

La arena fue previamente lavada con agua de la llave y el vermicompost se obtuvo después de pasar una mezcla de tres diferentes tipos de estiércol de ganado caprino, caballar y de conejo en una relación 1:1:1, por un proceso de descomposición de 90 días con la lombriz *Eisenia fetida*.

Cuadro 3.1 Mezclas de vermicompost y arena en relación a volumen para los tratamientos evaluados UAAAN-UL 2008.

Tratamientos	Vermicompost	:	Arena
Tratamiento 0 (testigo)	0	:	1
Tratamiento 1	1	:	1
Tratamiento 2	1	:	2
Tratamiento 3	1	:	3

3.5 Manejo y desarrollo del cultivo

3.5.1 Siembra

La siembra se realizó el 8 de junio del 2008, utilizando el híbrido Sun-7705 en una charola germinadora de unicel de 200 cavidades utilizando Peat-moss

como sustrato, el cual fue saturado, posteriormente se llenó la charola y se colocó una semilla por cavidad.

3.5.2 Trasplante

El 13 de julio del 2008 se realizó el trasplante en el invernadero; se utilizaron bolsas negras de plástico de aproximadamente 20 kg de capacidad. Las bolsas se llenaron con mezclas diferentes de arena y vermicompost, y posteriormente se colocaron dentro del invernadero en dos hileras con arreglo de tresbolillo, disponiendo de un total de 120 macetas para este experimento.

3.5.3 Podas

Se llevó a cabo una poda de formación, dejando un tallo principal en cada planta, esta poda consiste en eliminar los brotes laterales, así como también las hojas basales de acuerdo al crecimiento de la planta, después de la cosecha del racimo éstas envejecen y no desempeñan ninguna función, esto también sirve para que circule el aire y no se favorezca la proliferación de enfermedades por la presencia de un elevado nivel de humedad. El material utilizado fue tijeras las cuales se desinfectaban previamente en una solución de agua con cloro al 5 % cada que se podaba una nueva planta.

3.5.4 Entutorado

Este procedimiento se realiza sujetando un alambre flexible a la estructura del invernadero, en cada planta se coloca una rafia sujetándola en la maceta posteriormente se va dando vuelta en la planta hacia la derecha. Se realiza el ajuste de la rafia cada que la planta lo requiere durante su desarrollo y hasta el final de la producción.

3.6 Polinización

La polinización se realizó manualmente desde que comenzó la floración con un cepillo dental eléctrico, esta acción fue ejecutada diariamente en un horario de 11:00 y 14:00 hr.

3.7 Control de plagas y enfermedades

Se realizaron aplicaciones a base de un programa de prevención y control, observándose la presencia principalmente de mosquita blanca y trips. En cuanto a enfermedades se presentó la cenicilla a finales de la producción. Todas las plagas y enfermedades fueron controladas con productos orgánicos para evitar con esto residualidad en los frutos.

3.7.1 Plagas que se presentaron y su control

Mosquita blanca (*Bemisia argentifolli* Bellows & Perring) se controló con aplicaciones de FLAY-NOT en dosis de 20 mL en 8 litros de agua, realizando una aplicación por semana y Vel Rosita en dosis de 1mL por litro de agua en periodo con mayor presencia se aplicó diariamente.

Los Trips (*Frankliniella occidentalis*) se controlaron con aplicaciones de FLAY-NOT en dosis de 20 mL en 8 litros de agua y KALIL 95 en dosis de 50 mL en 10 litros de agua , en combinación con 5 mL de aceite para favorecer adherencia del producto a las hojas de las plantas.

3.7.2 Enfermedades que se presentaron y su control

Cenicilla (*Leveillula taurica*) se presentó al final, a poco tiempo de terminar con la cosecha aun así se controló con Fungibac plus en dosis de 15 mL en 20 litros de agua; también fue aplicado cada 8 días para prevenir la enfermedad.

3.8 Riego

Para determinar la cantidad de riego se consideraron: a) las curvas de retención humedad realizadas a los sustratos arena, VC; b) los tratamientos (cuyas curvas se aprecian en las figuras A-1, A-2, A-3, A-4, A-5); c) a experiencias en manejo de tomate en invernadero en la UAAAN-UL; y d) apegado a la demanda que presenta la etapa fenológica del cultivo, a mayor follaje mayor demanda de agua (González-Meza y Hernández-Leos, 2000).

El riego se realizó manualmente ya que en los tratamientos la aplicación de riego no era igual para todos, según el nivel de vermicompost se le daba el riego, ya que el vermicompost tiene la capacidad de retener humedad.

Cuadro 3.2 Volumen de agua aplicadas durante las diferentes etapas del desarrollo fisiológico de la planta. UAAAN-UL 2008.

Tratamientos	Horas	1ª etapa	2ª etapa L	3ª etapa
Tratamiento 0	24	0.560	0.80	1.5
Tratamiento 1	72	1.0	2.0	2.0
Tratamiento 2	48	1.0	1.0	2.0
Tratamiento 3	24	1.0	1.0	1.0

Aplicando la mitad por la mañana y la mitad por la tarde, en la evaluación de los sustratos

El testigo a demás de estas tres etapas manejo una cuarta en la cual se le aplico 2 L. En el testigo (T0) el riego fue aplicado una sola vez por la mañana con solución nutritiva cuadro 3.3 la cual se calculo con lo recomendado por Zaidan y Avidan (1997) cuadro A.11 del apéndice, y cada ocho días se aplicó un riego pesado para lavar sales.

Cuadro 3.3 Solución nutritiva empleada en la fertirrigación del cultivo en el tratamiento testigo. UAAAN-UL, 2008

Solución	1ª Fase de plantación y establecimiento	2ª. Fase de floración y cuajado	3ª. Fase de inicio de maduración	4ª Fase de cosecha
			(g)	
KNO ₃ ⁺	30.57	213.99	274.97	456.41
Ca(NO ₃) ₂ ⁺	22.4	89.6	117.55	166.92
Mg(NO ₃) ₂ ⁺	21.89	194.82	236.31	392.3
Ac. Fosfórico	4.93	4.93	11.89	16.13
Maxiquel multi	4.78	24.74	31.66	41.12
Agua (L)	70	100	150	200

3.9 Variables evaluadas

Se tomaron datos de las variables fisiológicas que se describen a continuación, durante el desarrollo de la planta hasta que se alcanzó el octavo racimo:

- Altura de la planta: esta fue tomada cada ocho días, los primeros tres registros se realizaron con una regla de 30 cm y conforme creció la planta se utilizó una cinta métrica flexible de 2 m.
- Número de nudos: esta variable se registró cada ocho días, realizando el conteo a la aparición de estos.
- Grosor del tallo: se registró cada ocho días con la ayuda de un vernier.

Para evaluar la calidad del fruto durante la cosecha se tomaron las siguientes variables, considerando solamente hasta el quinto racimo:

- Diámetro polar: Se tomo con la ayuda de un vernier.
- Diámetro ecuatorial: Se tomo con la ayuda de un vernier.
- Espesor de la pulpa: Se partía el fruto ala mitad con la ayuda de una navaja y se tomaba con la ayuda de un vernier.

- Número de lóculos: El fruto era cortado a la mitad con una navaja y para contar los lóculos.
- Rendimiento: Para sacar rendimiento se registraron los pesos de los frutos de cada planta, y posteriormente se calculó el rendimiento por metro cuadrado.
- Peso del fruto: se determinó utilizando una báscula eléctrica.
- Sólidos Solubles: Para esta variable el fruto fue cortado por la mitad con ayuda de una navaja y se colocó una gota de jugo de éste en el refractómetro, que anteriormente ya estaba calibrado.

3.10 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos, considerando cada una de las variables evaluadas; en las que se encontró diferencia significativa se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de medias, con Dunnett 5% debido a la potencia de dicha prueba la comparación de las medias resultó estadísticamente igual a pesar de que el análisis mostraba diferencia altamente significativa, debido a lo anterior se optó por aplicar la prueba Diferencia Mínima Significativa DMS 5% para detectar dicha diferencia. Los análisis de varianza y la comparación de media se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 6.12 (SAS, 1998).

Mediante los datos obtenidos semanalmente de altura, número de nudos, grosor de tallo, se generaron ecuaciones de regresión, donde “Y” fue la altura, número de nudos o grosor de tallo dependiendo a la variable evaluada y “X” fueron los días después del trasplante (ddt).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Valores de crecimiento

Se obtuvieron ecuaciones cuadráticas con modelos de regresión lineal para las variables altura, grosor de tallo y número de nudos; considerando el periodo de días después del trasplante (ddt). El uso de este análisis de regresión resultará de utilidad para programar cuando se tiene que realizar las prácticas culturales.

4.1.1 Altura de planta

La dinámica de crecimiento longitudinal de las plantas de tomate en las diferentes mezclas evaluadas se muestra en las ecuaciones del cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable altura.

Tratamiento	Ecuación	R ²
Testigo	$Y=0.007 X^2+ 2.41 X -1.078$	0.984
1	$Y=0.0149 X^2 + 2.89X-3.82$	0.988
2	$Y=0.015 X^2 + 2.59 X -3.92$	0.981
3	$Y=0.01425 X^2 + 2.48 X -2.6$	0.984

Adicionalmente, en la figura 4.1 se observan las alturas obtenidas a través del experimento, donde se puede apreciar que el testigo T0 (VC:arena, relación 0:1) y el tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1), muestran los valores más destacados con 153.94 y 137.07 cm de altura respectivamente a los 88 días, resaltando el testigo con una r² de 0.989 (cuadro 4.1), mientras que en el T3

(VC:arena, relación 1:3) y T2 (VC:arena, relación 1:2), presentaron el mismo comportamiento en altura.

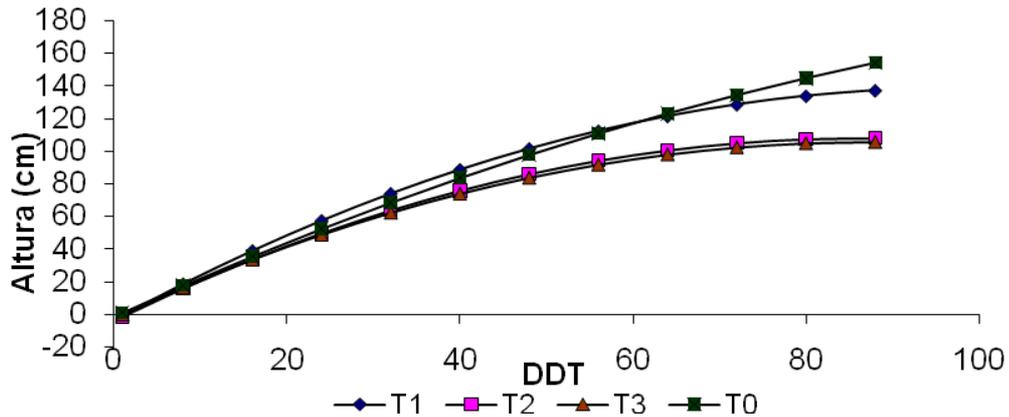


Figura 4.1. Incremento de la altura (ddt) de las plantas de tomate en los diferentes tratamientos.

Los resultados de altura de este experimento concuerdan con los obtenidos en los estudios realizados por Márquez-Hernández *et al.* (2006) donde se determinó que el ajuste lineal para todos los tratamientos resultó muy aceptable ya que el r^2 fluctuó entre 87 y 98%. Las plantas de los tratamientos que alcanzaron la mayor altura, a través del ciclo de cultivo, fueron las del testigo, así como las plantas de la mezcla con vermicompost:arena al 50%, es decir con la relación 1:1 donde se registraron alturas promedio de 288.29 cm a los 80 ddt.

Los mismos autores Márquez-Hernández *et al.* (2007) reportaron que el tratamiento de mayor altura a través del ciclo del cultivo fue obtenido con biocompost mas perlita al 37.5%, mientras que el tratamiento de menor altura fue de VC+arena al 12.5%. Así mismo, Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) destacan que en las plantas de tomate solo se presentaron efectos altamente significativos para los tratamientos, mas no hubo diferencias significativas entre

variedades. En el trabajo de estos últimos autores, la mayor altura de la planta correspondió al T3 arena + fertilizante inorgánico, y a decir de estos autores, una mayor altura conlleva el aumento en el número de hojas y por tanto, a un mayor contenido de clorofila, por lo que el incremento de número de hojas incrementa la fotosíntesis, lo que redundará en el incremento del peso de fruto y consecuentemente el rendimiento. Por otro lado, Michel-Mata (2007) determinó que la mayor altura, de 152.12 cm, a los 100 ddt, se presentó en el tratamiento que incluyó la fertilización orgánica con un sustrato de arena y compost con yeso a razón 1:1.

4.1.2 Número de nudos

Como muestra la figura 4.2 para el análisis de esta variable se puede observar que el testigo T0 (VC:arena, relación 0:1) y el tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1) presentaron el mayor número de nudos con 29.6 y 24.8 respectivamente, destacando el tratamiento testigo, con una r^2 de 0.997 valores que se aprecian en el cuadro 4.2. Los resultados de número de nudos se relacionan con los obtenidos con la altura de la planta, ya que a mayor altura mayor densidad de follaje y por lo tanto mayor fotosíntesis. Por otro lado, los tratamientos T3 (VC:arena, relación 1:3) y T2 (VC:arena, relación 1:2) presentaron el mismo comportamiento para la altura de las plantas y por lo tanto se registró un menor número de nudos.

Cuadro 4.2 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable número de nudos.

Tratamiento	Ecuación	R ²
Testigo	$Y = -0.0008 X^2 + 0.39 X + 1.59$	0.997
1	$Y = 0.0021 X^2 + 0.45 X + 1.58$	0.99
2	$Y = -0.0024 X^2 + 0.438 X + 1.50$	0.995
3	$Y = -0.0023 X^2 + 0.419 X + 1.69$	0.993

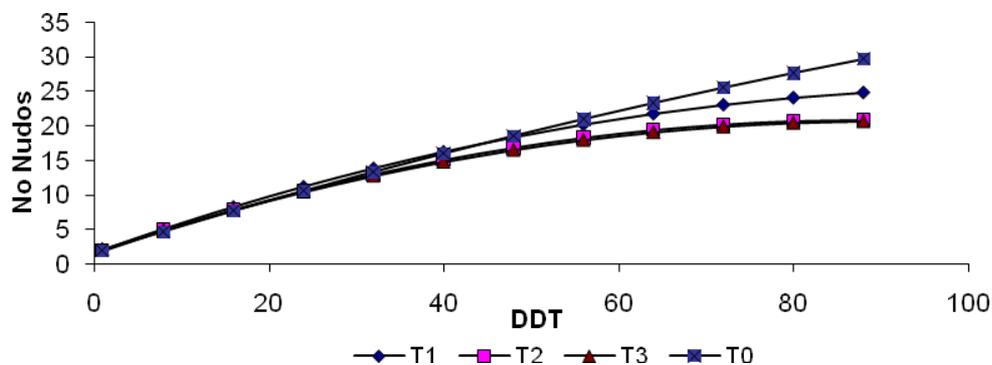


Figura 4.2. Aparición de nudos (ddt), durante el desarrollo fisiológico de la planta en los diferentes tratamientos.

4.1.3 Grosor de tallo

Como se puede apreciar en la figura 4.3, durante todo el experimento, solo se registraron pequeñas diferencias, para grosor de tallo, entre los días 1 y 24 (ddt), para los tratamientos evaluados. Sin embargo las plantas que presentaron mayor grosor de tallo fueron las de los tratamiento T2 (VC:arena, relación 1:2) y T3 (VC:arena, relación 1:3) con un grosor de 9.69 y 9.63 mm, respectivamente, destacando el T2 (VC:arena, relación 1:2) con una r^2 de 0.973 (cuadro 4.3) , mientras que los tratamientos T0 y T1 mostraron el mismo incremento para esta variable.

Los valores obtenidos con el tratamiento T2 de 9.7 mm para el grosor de tallo superan a los reportados por Matheus *et al.* (2007) quienes obtuvieron en plantas de tomate un grosor de tallo de 7.7 mm, al utilizar una mezcla de suelo:VC en relación 9:1. Comparando con los valores reportados por Matheus *et al.* (2007) el tratamiento T2 evaluado en este experimento resulto mayor en un 20.7% de grosor de tallo, con lo cual al obtener mayor grosor de tallo es posible suponer que la planta podrá tener mayor resistencia contra fractura.

Cuadro 4.3 Ecuaciones cuadráticas del comportamiento de la variable grosor de tallo.

Tratamiento	Ecuación	R ²
T0	$Y = -0.0022X^2 + 0.285 X + 1.574$	0.966
T1	$Y = 0.0022X^2 + 0.282 X + 1.78$	0.96
T2	$Y = 0.0021 X^2 + 0.275 X + 1.83$	0.973
T3	$Y = 0.0021 X^2 + 0.279 X + 1.79$	0.971

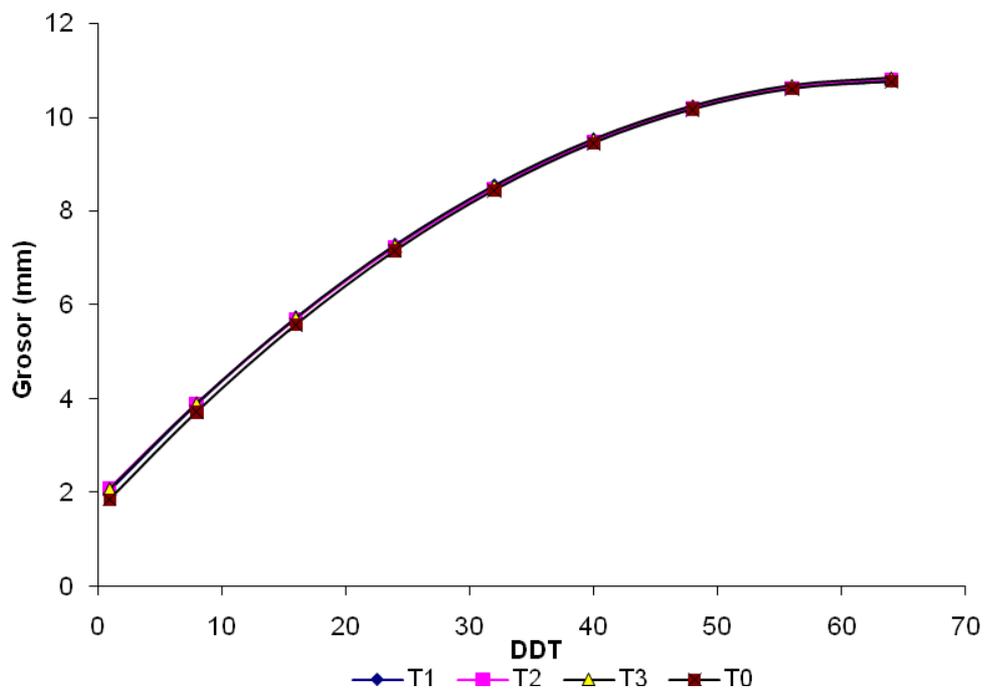


Figura 4.3. Crecimiento del grosor de tallo (ddt), durante el desarrollo fisiológico de la planta en los diferentes tratamientos.

4.4 Valores de calidad

Para estos parámetros se realizó el Análisis de Varianza mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 6.12 (SAS, 1998).

En las variables donde se detectó diferencia significativa se realizó una prueba de comparación de medias utilizando Dunnett 1%, debido a la exigencia de esta prueba la comparación de los valores promedio resultó estadísticamente igual, por esta razón se optó por aplicar la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%, para detectar las diferencias significativas que se determinaron en los cuadros de varianza.

4.4.1 Rendimiento

El análisis estadístico para este parámetro, de interés en la selección del tratamiento pertinente para la producción eficiente de este fruto, presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) cuadro A-3 del apéndice.

Al respecto, el máximo rendimiento de $50.29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (cuadro 4.4), se obtuvo en el tratamiento con la mezcla 1:1 de VC:arena, seguido del tratamiento testigo 0:1 de VC:arena, con diferencia a favor del primero de $0.365 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Además, al comparar el T1 contra los tratamientos T3 y T2 el primero los supero con 10.48 y $9.25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de rendimiento respectivamente.

Los rendimientos obtenidos en este estudio supera a los reportados por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) quienes evaluaron el mismo genotipo con vermicompost y arena al 50%, obteniendo $39.81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Por otro lado, los valores del T1 son similares a los reportados por Moreno-Reséndez *et al.* (2008), en la evaluación de niveles de vermicompost:arena, en donde los genotipos de mayor rendimiento y estadísticamente iguales fueron, Adela con solución nutritiva, Andre con el 12.5% y Andre al 50% de vermicompost con 173.7, 170.5, y $131.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente.

Aunque los resultados del experimento resultaron mucho menores a los obtenidos por Ochoa-Martínez *et al.*, 2009 quienes al aplicar solución nutritiva al tomate obtuvieron el mayor rendimiento con $218 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, superando a los sustratos orgánicos.

Cuadro 4.4 Rendimiento en Toneladas por hectárea y otros caracteres del tomate determinados bajo diferentes componentes de VC y arena en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). UAAAN-UL 2008.

Tratamientos	R (t•ha ⁻¹)	PF (g)	FP	DP (cm)	DE (cm)	SS %Brix	EP (mm)	NL
T0 (0:1 VC:arena)	49.93 a	57.61	19.87 a	5.11a	4.47	5.36a	5.33 a	2.41 a
T1 (1:1 VC:arena)	50.29 a	60.23	20.75 a	5.31ab	4.28	4.92b	5.76ab	2.57 ab
T2 (1:2 VC:arena)	39.81 b	54.89	16.37 b	4.87 b	4.11	4.37 c	4.86 b	2.51 b
T3 (1:3 VC:arena)	41.04 b	57.03	17.0 b	4.88 b	4.03	4.27 c	4.90 b	2.39 b
CV	14.8%	14.9%	14.5%	6.1%	8.9%	6.07%	9.1%	5.01%

R=Rendimiento; PF= Peso de fruto; FP= Frutos por planta; DP= Diámetro Polar; DE= Diámetro Ecuatorial; SS= Sólidos Solubles; EP= Espesor de Pulpa; NM= Número de Lóculos.

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales DMS 5%.

4.4.2 Peso de frutos

El análisis de varianza para esta variable no registró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados cuadro A-4 del apéndice. Sin embargo en el cuadro 4.4 se puede apreciar que el tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1 superó a los tratamientos T0, T2 y T3 con al menos 3.5 g de peso de los frutos. Además, se puede resaltar que a menor cantidad de VC en las mezclas evaluadas, de VC y arena, se obtienen frutos con menor peso.

La situación anterior se contrapone a lo señalado por Atiyeh *et al.* (2000) quienes concluyeron que la aplicación de pequeñas cantidades de vermicompost, mezcladas con sustratos estándares y de alta calidad de crecimiento favoreció, de forma significativa, el desarrollo de las plantas de tomate.

Los datos obtenidos en el tratamiento T1 supero al testigo coincide con los obtenidos por Márquez-Hernández *et al.* (2006) en la evaluación de tomate cherry donde los mayores valores se obtuvieron con niveles de 24 y 37.5 % de vermicompost en combinación con perlita con un peso de 11.3 g por fruto superando al testigo.

Por el contrario de Moreno-Reséndez *et al*, (2008) quienes reportan valores de 224.71g por fruto en la mezcla de 12.5 y 87.5% VC:arena, donde la mezcla de menor concentración de VC, tiene el mayor peso a comparación con el tratamiento donde la concentración fue del 50% de VC, que son iguales las concentraciones que las que se utilizaron en el presente experimento para el T1.

4.4.3 Número de frutos

El análisis de varianza para esta variable, estrechamente relacionada al rendimiento, registró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) cuadro A-5 del apéndice, habiendo obtenido el valor promedio más alto en el tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1) con 20.75 frutos•planta⁻¹ (Cuadro 4.4). Los valores mas pequeños se obtuvieron con los tratamientos con las mezclas 1:3 y 1:2 (VC:arena) con 17.0 y 16.37 frutos•planta⁻¹, respectivamente.

Los resultados obtenidos con el tratamiento T1 fueron superados por los valores reportados por Rodríguez-Dimas *et al*. (2007) en cuyo trabajo experimental obtuvieron 34 frutos por planta en la evaluación de vermicompost más arena y micronutrientes quelatizados seguido por la solución nutritiva y la mezcla de vermicompost y arena al 50% con 33 y 28 frutos respectivamente.

4.4.4 Diámetro Polar

El análisis de varianza para esta variable detectó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) cuadro A-6 del apéndice, en donde nuevamente el tratamiento T1 con la mezcla 1:1 (VC:arena) alcanzó el valor promedio más alto con 5.31 cm y el tratamiento menos favorecido, con 4.87 cm resultó ser la mezcla 1:2 (VC:arena) (Cuadro 4.4).

Los valores de diámetro polar obtenidos en el presente trabajo son similares a los reportados por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) quienes en los genotipos Big Beef obtuvieron un diámetro de 5.8 y Miramar con 5.5 cm, al utilizar la mezcla de arena con vermicompost tratamiento que supero al testigo.

De igual manera que en el tratamiento T1, Moreno-Reséndez *et al.* (2008) reportaron valores de 6.9 cm en el genotipo André y 6.2 cm en el genotipo Adela con un tratamiento del 50% de arena y vermicompost, superando a los demás tratamientos.

4.4.5 Diámetro ecuatorial

Además de no detectarse diferencia significativa (NS) en el análisis de varianza cuadro A-7 del apéndice, en los valores promedio para esta variable, el valor más alto fue obtenido con el tratamiento T0, mezcla 0:1 (VC:arena), con 4.47 cm y los menores valores promedios correspondieron a los tratamientos que incluyeron al VC en sus composición en las diferentes proporciones.

Los valores obtenidos para esta variable, presentaron diferencia con los encontrados por Gómez-Fuentes (2003), quien reporta diferencias altamente significativas entre los tratamientos, obteniendo una media de 7.0 cm, con un nivel de vermicompost de 50%, estableciendo que mayor porcentaje de vermicompost mayor diámetro ecuatorial.

Por otro lado los datos obtenidos no coinciden con los reportados por Cano y Márquez (2004) quienes mencionan que los mejores tratamientos fueron con los niveles de vermicompost de 25 y 37.7%, con 7.24 y 7.05 cm de diámetro ecuatorial, respectivamente, superando éstos al testigo.

4.4.6 Sólidos Solubles

Para la variable Sólidos solubles (°Brix) el análisis de varianza muestra que hubo diferencias altamente significativa ($P \leq 0.01$) cuadro A-8 del apéndice, entre los tratamientos presentando un CV de 6.07% y una media de 4.73, en lo que respecta a la comparación de medias se puede apreciar que el tratamiento T0 (0:1; VC:arena) registró el valor más alto con 5.36 °Brix seguido por el T1(1:1; VC:arena) con 4.92 °Brix. Por su parte los tratamientos T3 (1:3; VC:arena) y T2 (1:2; VC:arena) mostraron los menor cantidad de sólidos solubles (cuadro 4.4) siendo éstos estadísticamente iguales.

Loa valores obtenidos para sólidos solubles en el presente experimento concuerdan con los valores reportados por Pérez-Cabrera *et al.* (2006) quienes reportaron valores de 4.96 °Brix, para el mismo genotipo, con los mismos niveles de VC:arena (50:50%), la única diferencia apreciable es que en su caso los valores de sólidos solubles superan al testigo y caso contrario se registro en este trabajo.

Por el otro lado, los resultados obtenidos fueron superados por Cano-Ríos *et al.* (2004) quienes reportaron que los composts, el CV y el biocompost superaron al testigo en 8%, con un valor promedio de 7.89 °Brix, probablemente, debido a la adición continua de agua al sustrato de arena usada en el testigo donde se presenta una pobre retención de humedad, ocasionando la no acumulación de azúcares.

4.4.7 Espesor de la pulpa

Las diferentes tratamientos evaluados mostraron diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) cuadro A-9 del apéndice, para esta variable de importancia en la selección o no por el consumidor en función de que su

contenido está íntimamente relacionado con las características o propiedades organolépticas del fruto.

Los máximos valores fueron alcanzados por la mezcla del tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1) que superan al tratamiento T0 (VC:arena, relación 0:1) y suplementando con fertilización inorgánica, en tanto que los tratamientos T2 y T3 con las mezclas 1:3 y 1:2 manifestaron valores decrecientes a medida en que el contenido del VC se fue reduciendo (Cuadro 4.4).

Los valores registrados para la variable espesor de pulpa coinciden con los valores que fueron reportados por Márquez-Hernández *et al.* (2007) quienes determinaron valores de 8.9 mm con el tratamiento de VC mas arena al 37.5%, con este tratamiento ellos superaron al testigo, al igual que lo que se registro en el experimento.

4.4.8 Número de lóculos

El análisis de varianza indica que hubo diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) cuadro A-7 del apéndice, entre los tratamientos con un CV de 5.1% y una media de 2.4 lóculos. El tratamiento T1 (VC:arena, relación 1:1) registró mayor número de lóculos con 2.57, el tratamiento T3 (VC:arena, relación 1:3) mostró el menor número con 2.39 lóculos (cuadro 4.4).

En los datos obtenidos se presento diferencia entre los tratamientos donde el T1 supero al testigo, en contraste a los reportados por Marque-Hernández *et al.* (2007) quienes reportaron valores de 4 lóculos para tomate bola en la evaluación de sustratos orgánicos no presentando diferencia significativa entre los tratamientos.

Por otra parte los valores del tratamiento 1 donde se supera al testigo son iguales a los valores reportados por Moreno-Reséndez *et al.* (2008) quienes encontraron valores de 5 lóculos para el genotipo André y 4.9 para el genotipo

Adela con niveles de vermicompost de 12.5 y 87.5% de VC:arena, superando al testigo.

4.4.9 Color del fruto

Para esta variable se utilizó un identificador de colores identificado como “The Royal Horticultural Society Color Chart London, R.H.S. 1966”.

Para el tratamiento T1 el color externo se mantuvo en un estándar de 46B a 43A con una media de 45B. Para el color interno los colores se mantuvieron en 45C a 44C teniendo como media 45D.

En el Tratamiento T2 el color externo se mantuvo en el intervalo de 46B a 42A teniendo como media 44A. El color interno de los frutos presentó un intervalo de 45C a 41C.

Para el tratamiento T3 el color externo se mantuvo en los valores fueron de 46B a 43 A con una media de 44A. Para el color interno oscilaron entre 45C a 41C con una media de 44C.

El Testigo T0 en el color externo el valor se mantuvo en 46A a 44C con una media de 45B. Para el color interno los valores se mantuvieron en valores de 45C a 41C con una media de 44C.

A manera general se puede señalar que los resultados obtenidos sugieren que el vermicompost posee características que permiten sostener la producción de tomate, De acuerdo con Atiyeh *et al.* (2000a, 2000b, 2001); Mangrisch *et al.* 2000; Gunadi *et al.* (2002); Panikkar *et al.* (2004) citan que el vermicompost contiene elementos nutritivos en forma que son fácilmente asimilables, donde la mayor parte del N mineral se encuentra en forma de nitrato que es mas fácilmente asimilado que en forma amoniacal, contienen sustancias biológicamente activas, tales como reguladores de crecimiento vegetal. Cruz-Rodríguez *et al.* (2003) mencionan dichos elementos nutritivos tienen una

lenta liberación. Canellas et al. (2002); Valadares-Veras y Povinelli (2004) y Ramesh *et al.* (2005) citan que otra característica de mayor importancia es la de retención de humedad, lo que permite tener un ahorro de agua pues la frecuencia de riego es mayor.

V. CONCLUSIONES

La mezcla del tratamiento T1 (VC:arena relación 1:1) cubren las necesidades nutricionales del cultivo del tomate, para obtener alrededor de $50.29 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ sin adición de fertilizantes sintéticos, superando al testigo con solución nutritiva. Con respecto a las variables: peso de fruto, número de frutos, diámetro polar, espesor de la pulpa, número de lóculos resultaron altamente significativas con el tratamiento de VC:arena en relación 1:1 esta mezcla superó a los demás tratamientos. Además de que se redujo el consumo de agua pues fue la mezcla con riego más espaciado (72 h).

Las mezclas que contenían VC T2 y T3 lograron satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo de tomate, necesidades que igualmente fueron satisfechas con la solución nutritiva que se utilizó en el tratamiento testigo, bajo las condiciones en que se realizó la evaluación. Esta afirmación se basa en que las plantas de tomate en los diferentes tratamientos completaron su ciclo fenológico sin presentar deficiencias nutritivas. No obstante, el sustrato T1 puede utilizarse en la producción de tomate orgánico en invernadero, además de obtener una mayor producción, tiene un mayor valor comercial del producto y con el menor costo de fertilización y un ahorro de agua ya que el VC tiene la capacidad de retención de humedad.

Aunado a lo anterior a diferencia de que el mayor rendimiento se obtuvo con una mayor concentración del vermicompost Atiyeh *et al.* (2000a) obtuvieron una mayor respuesta en la concentración de 20% de vermicompost más solución nutritiva. De igual manera Atiyeh *et al.* (2002) la mayor respuesta de crecimiento

y rendimiento la obtuvo con una proporción de 10-40% de VC, en proporciones de 90-100% de VC se reduce el crecimiento.

Basado en todas estas características, los residuos orgánicos específicamente después de haber sido vermicompostado, pueden ser un medio de crecimiento para el desarrollo de diversas especies vegetales.

VII. LITERATURA CITADA

- Abad-Berjon, M. 1999. Sustratos para cultivos sin suelo, pp.131-166. *In*: F. Nuez, El cultivo del tomate, Ed. Mundi-Prensa, México.
- Acosta-Rodríguez G. F., F. Javier Quiñones P., R. Galván L. y N. Chávez S. 2002, Como producir tomate en la región de Delicias Chihuahua. SAGARPA, México. 18 p.
- Acuña-Vindas, J., D. Esquivel Fernández y F. Valverde Serrano, 2002. Proyecto de Inversión de la Agricultura Orgánica "Tomates saludables", pp.4,5; *In* Antología de casos de economía y ambiente: Agricultura orgánica, apicultura y lombricultura (Ed.) Marrozzi Rojas Marino. Disponible en: <http://topshare.wur.nl/questionnaires/pubdb/attachments/Antolog%20de%20Ocasos%20de%20apicult,%20agric%20organ,%20lombricult.pdf>. Fecha de recuperación: 22/10/09.
- Aira, M., F. Monroy, J. Dominguez and S. Mato. 2001. How earthworm density affects microbial biomas and activity in pig manure, Elsevier, 38: 7-10.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C. A. Edwards, and J. D. Metzger. 2000a. Influence of earthworm-processet pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoeos. Bioresour. Technol. 75:175-180.

- Atiyeh, R. M., J. Domínguez, S. Subler y A. Edwards, C. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*. 44:709-724.
- Atiyeh, R. M., A. Edwards, C., S. Subler, D. Metzger, J. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.* 78: 11-20.
- Atiyeh, R. M., Q. Arancon, N., A. Edwards, C., D. Metzger, J. 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Biores. Technol.* 81; 103-108.
- Baixauli-Soria, C. y J. M., Aguilar Olivert. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas; Aspectos básicos y experiencias. Ed. Generalitat Valenciana. Valencia. p. 110
- Bastida-Tapia, A. 2008, "La agricultura protegida" In: Los invernaderos en México, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. pp.3-36.
- Berenguer J., J. 2003. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. In: Javier Z. Castellanos y José de Jesús Muñoz (Eds.). Curso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. 36p.
- Bravo-Varas, A. 1996. Técnicas y aplicaciones del cultivo de la lombriz Roja Californiana. (*Eisenia foetida*). Facultad de Humanidades. Universidad Yacambu. 6 p. disponible en: <http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/8317/eisenia.html>. Fecha de recuperación: 12/09/09.

Bunt, A. C. 1988. Media and Mixes for Container-grown Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4227GWM-G&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1109646589&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=72bb59ff899f7ac15520ba8d988c7779. Fecha de recuperación: 05/09/09.

Burés. S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotecnicas S.L. Madrid España. 342 p.

Calderón, O. A. 2003. Sustratos agrícolas " Disponible en: sustrato@uchile.cl <http://www.biosustratos.cl/pdf/Sustratos%20agricolas1.pdf>. Fecha de recuperación: 28/08/09].

Calderón, O. A. 2005. Propiedades físicas de los sustratos " Disponible en: sustrato@uchile.cl. [http://www.biosustratos.cl/pdf/Propiedades físicas Sustratos.pdf](http://www.biosustratos.cl/pdf/Propiedades_fisicas_Sustratos.pdf). Fecha de recuperación: 28/08/09.

Calderón-Saenz, F. y F. Cevallos. 2001. los sustratos, Colombia, pp. 1-33. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm. Fecha de recuperación: 28/08/09.

Canellas, L. P., L. Olivares, F., A. L. Okorokova F. y R. Facanha, A. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* 130(4): 1951-1957.

Cano-Ríos P., A. Moreno R., C. Márquez H., N. Rodríguez D. y V. Martínez C. 2004. Producción de Tomate bajo invernadero en la Comarca Lagunera. pp. 110-122 In: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004.

- Cano R. P. y C. Márquez H. 2004. Producción orgánica de tomate bajo invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, México, pp. 4,5.
- Caro M. P. 2001. Manejo de plagas del cultivo de chile. In: Curso del INCAPA "Manejo integrado de plagas y enfermedades en tomate, chile y papa". Guadalajara Jalisco México. Pp. 40-44.
- Castellanos Z., J. 2004. Manual de producción hortícola en invernadero. INTAGRI. 2ª edición. México. pp. 124- 148.
- Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico; tecnología y manejo. Ed. Mundi-Prensa. Pp. 225-270.
- Castillo A., E., S. Quarín, H., y M. Iglesias C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborado a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agricultura Técnica (Chile) 60:74-79.
- Chamarro-Lapuerta J. 1999. Anatomía y fisiología de la planta, pp.43-87. In: F.Nuez. El cultivo del tomate, Ed. Mundi-Prensa, México.
- Cook, R. and L. Calvin. 2005. Greenhouse Tomatoes Change the Dynamics of the North American Fresh Tomato Industry, United States Department of Agriculture. Disponible en: http://www.ers.usda.gov/News/reportsummaries/err2_reportsummary.pdf. Fecha de recuperación: 20/08/09.
- Cruz-Rodrigues, V., V. C. de Almeida T., F. de Andrade, I., I. Neto, A., V. de Nascimento R., V., F. Villa A. 2003. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. Ciênc. Agrotec. Lavras. 27(6): 1409-1418.

- Cun G. R., C. Duarte D. y L. Montero S. 2008. Producción orgánica de tomate mediante la aplicación de humus de lombriz y EcoMic® en condiciones de casa de cultivo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17(3): 22-25.
- de la Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada B., V. Robledo T., R. Osorio O., C. Márquez H. y R. Sánchez H. 2009. Tomato production in greenhouse using compost and vermicompost as substrate. *Uniciencia*. 25 (1): 59-67.
- de Santiago, J. 2001. Evaluación de las exportaciones de tomate de México, Productores de Hortalizas, septiembre: 14-17. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/pdh/?storyid=1168>. Fecha de recuperación: 13/10/09.
- Díaz-Serrano, F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero, México. In: *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004*.
- Duarte C., M. León., L. Montero., M. Pedroso y M. Arteaga. 2006. Manejo de la fertirrigación orgánica y el riego en casa de cultivo protegido. Informe final de proyecto 22 19, Programa Ramal de Riego. Disponible en: http://www.isch.edu.cu/rcta/rcta_3_2006/pdf/rcta05308.pdf. Fecha de recuperación: 25/10/09.
- Duran L., y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos, *Agronomía Costarricense*. 31(1): 41-51.
- Elvira, C., L. Sanpedro, E. Benitez y R. Nogales. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia Andrei*: A pilot scale study. *Bioresource Technology* 63: 205-211.

Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate. In: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. IEA/FIAPACánovas F. y Díaz J.R. (eds.), Almería España, pp. 263-279.

Espinosa-Zapata C., 2004, Producción de tomate en invernadero, México, pp.19-43. Disponible en: http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03-Prod_tomate_invernadero.pdf. Fecha de recuperación: 12/10/09.

Esquinas A. J. y F. V. Nuez 1999. Situación Taxonómica, Domesticación y Difusión del Tomate, pp. 13-23. In: El Cultivo de Tomate. F. Nuez Ed.. Editorial Mundi-prensa México.

Fauziah S. H., and Agamuthu P. 2009. Sustainable Household Organic Waste Management via Vermicomposting. *Malaysin Journal of Science*. 28(2): 135-142.

Félix – Herrán, J. A., R. R. Sañudo T., G. E. Rojo M., R. Martínez R. y V. Olalde P., 2008, Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*. 4(1): 57-67.

Florián-Martínez, P. 1997. Sustratos: propiedades, ventajas y desventajas, IVIA España, pp. 1-16. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INPERUPE.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=006184>. Fecha de recuperación: 28/08/09

Gajalakshmi, S., E. V. Ramasamy y S. A. Abbasi. 2001. Potencial of two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresource Technology* 76: 177-181.

Gewin V. 2004. Organic Faqs. *Nature* 428:796-798.

Gómez-Fuentes. L. 2003. Comparación de dos genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en mezclas de vermicomposta-arena bajo condiciones de

- invernadero en la Comarca Lagunera. Tesis de Licenciatura. UAAAN-UL, Torreón, Coahuila, México.
- Gómez T. L., M. A. Gómez C., R. y Schwentesius R. 1999. Producción y comercialización de hortalizas orgánicas en México. pp.121-158. In: Agricultura de exportación en tiempos de globalización, el caso de la hortalizas, flores y frutos. H. Gramont De C., M.A. Gómez C., H. Gonzales, R. Schwentesius R. (eds.). CIEESTAM/UACH. Chapingo, México.
- González-Caballero, A. 2009. Control climático de invernaderos In: Memorias del VII Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, San Nicolás de los Garza, N.L., México) México, pp 3-22.
- González-Meza A., y B.A. Hernández L., 2000, Estimación de las necesidades hídricas del tomate, México, pp. 45-50.
- Gunadi, B., A. Edwards, C., Q. Arancon, N. 2002. Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts. Eur. J. Soil Biol. 38; 161-165.
- Howard M., R. 2001. Cultivos hidropónicos, 5ª ed. Ed. Mundi-prensa, 558 p.
- Iskander-Cabrera, R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta, México. 4 p. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia06.pdf>. Fecha de recuperación: 25/08/09.
- Lacasa-Plasencia, A. y J. Contreras-Gallego.1999. Las plagas, pp. 387-463. In: El Cultivo del Tomate. (ed.) F. Nuez Editorial Mundi-prensa México.

- Lamas, M. A. 2009. Agricultura protegida; cultivo de tomate en invernadero, costos de producción y análisis de rentabilidad, FIRA. In: Memorias del VII Simposio Internacional de Producción de cultivos en Invernaderos, San Nicolás de los Garza, N.L., México, pp 35-45.
- Leblanc, A. H., M. E. Cerrato, A. Miranda, G. Valle. 2007. Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Tierra tropical*. 3(1): 97-107.
- Léos-Rodríguez J.A., E. Salazar S., M. Fortis H. y J. D. López M. 2008. Inocuidad alimentaria. FAZ-UJED, México. 153 p.
- Linares-Ontiveros H. 2004. Manual del participante Cultivo de tomate en invernadero 47 p. Disponible en: http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_Jitomate_Invernadero.pdf. Fecha de recuperación: 25/08/09.
- López-Martínez, J. D., E. Salazar S., E. Castellanos P., C. Vázquez V., R. Zúñiga T. y J.M Covarrubias R., 2007, Producción orgánica en invernaderos. FAZ-UJED, México, pp. 52.
- Lorenzo-Montero, C. Duarte, M. León, R. Cun y B. Rodríguez. 2008. Ecological fertigation for tomato cropping under greenhouses conditions. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17(3): 18-21.
- Mangrich, A. S., A. Lobo M., B. Trank C. F. Wypych, B. S. Toledo E. y E. Guimaraes. 2000. Criterious Preparation and Characterization of Earthworm-composts in View of Animal Waste Recycling. Part I. Correlation Between Chemical, Thermal and FTIR Spectroscopic Analyses of Four Humic Acids from Earthworm-composted Animal Manure. *J.Braz. Chem.Soc*, 11(2): 164-169.

- Márquez-Hernández C., P. Cano R., Y.I. Chew M., A. Moreno R. y N. Rodríguez D. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Revista Chapingo Serie horticultura 12(2): 183-189.
- Márquez-Hernández, C., P. Cano-Ríos. y N. Rodríguez-Dimas. 2007. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agricultura Técnica México 34(1): 64-74.
- Matheus, L. J., G. Graterol B., D. Simancas G., O. Fernández. 2007. Efecto de diferentes abonos orgánicos y su correlación con bioensayos para estimar nutrimentos disponibles. Agricultura Andina. 13:19-26.
- Messiaen C. M., D. Blancard, F. Rouxel y R. Lafon. 1995. Enfermedades de las hortalizas. 1995. Edición 3. (ed) Mundi-Prensa. México. Pp.184, 185.
- Michael-Mata R. 2007. Evaluación de un híbrido de tomate con fertilización orgánica e inorgánica con diferentes sustratos bajo invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad laguna Torreón Coahuila México. p 70.
- Moreno-Reséndez A., L. Gómez F., P. Cano R., V. Martínez C., J.L. Reyes C., J.L. Puentes M., y N. Rodríguez D. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernado. Terra Latinoamericana 26 (2): 103-109.
- Moreno-Reséndez A., P. Cano, R. y N. Rodríguez D. 2004. La vermicomposta: un medio de crecimiento potencial para el desarrollo de especies vegetales, Departamento de suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, México, pp. 4,5.
- Namesny, A. 2004. Tomates producción y comercio. Ed. Ediciones de Horticultura, España, 253 p.

- National Organic Standards Board (NOSB). 2002, Compost Task Force Recommendation. 6 p. Disponible en: <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5058471>. Fecha de recuperación: 02/09/09.
- Nava-Camberos U., J. Terrones R., y J. Maltos B. 2005. Capacitaciones del área de fitosanidad. Hortalizas de la Laguna, México, p. 27-33. In Memorias del XXVII Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Los Mochis, Sin., México, 11-13 Nov. . INIFAP, MEXICO
- Navarro-García M. 2002. Nutrición vegetal balanceada y riego por goteo en cultivos hortícolas. México. Pp. 9-21. Disponible en: <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia01.pdf>. Fecha de recuperación: 26/10/09.
- Navejas-Jiménez. J., 2002. Producción orgánica de tomate. Desplegable técnica No. 5, INIFAP- CIRNO, México. 5p.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador B., Troyo-Diequez E. Larrinaga-Mayoral J. A. y García-Hernandez J. L. 2002. Uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annum* L.). *Interciencia* 27(8):417-421.
- Nuño-Moreno R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California, México. pp. 3-26. Disponible en: <http://www.sefoa.gob.mx/sistema/docs/TomateInvernaderoMXL.pdf>. Fecha de recuperación: 22/10/09.
- Ochoa Martínez M., U. Figueroa V., P. Cano R., P. Preciado R., A. Moreno R. y N. Rodríguez D. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 15(2): 177-182

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2005. Mercado orgánico, Disponible en: <http://www.fao.org/organicag/display/work/display.asp?country=MEX&lang=ES&disp=summaries#> May. Fecha de recuperación: 20/09/09.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2002a. El cultivo protegido; en clima Mediterráneo, Roma, pp. 197-199.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2002b. Producción orgánica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/Y4137S/y4137s0d.htm>. Fecha de recuperación: 20/09/09.

Panikkar, A. K., J. Riley, S. y P. Shrestha, S. 2004. Risk Management in Vermicomposting of Domestic Organic Waste. *Environ. Health.* 4(2): 11-19.

Pérez-Cabrera, C.A., E de la Cruz, N.P. Brito M., V. Robledo T., R. Osorio O., y M.A. Estrada B. 2006. Producción de tomate en sustratos orgánicos. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp 186-191.

Pire, R. y A. Pereira. 2003. "Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta meteorológica". En *Revista Bioagro*, 15(1):55-64.

Ramesh, P., M. Singh y S. Rao, A. 2005. Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Sci.* 88(4): 561-568

Ramírez-Rojas S., A. Salazar P., y T. Nakagome. 2001. Manual de plagas y enfermedades del jitomate, tomate de cascara y cebolla en el estado de Morelos, México. pp.65-66.

- Ramírez-Villapudua J. 2009. Manejo orgánico del cultivo del tomate bajo techo, In: Memorias del VII Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, San Nicolás de los Garza, N.LMéxico. pp 3-17.
- Raviv, M. O., A. Krasnovsky, and H. Ziadna. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost of organic agriculture. *Compost Science & Utilization*. 12(1):6-10.
- Rodríguez, R. R. y Jiménez, D. F. 2002. Manejo de invernaderos. In: Memorias de la XIV de la Semana internacional de Agronomía FAZ-UJED. Venecia, Durango pp.58-65.
- Rodríguez-Dimas N., P. Cano R., E. Favela C., U. Figueroa V., V. de Paul A., A. Paloma. J, C Marquez. H. y A. Moreno R. 2007. Vermicomposta como alternativa organica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 185-192.
- Rodríguez-Dimas N., P. Cano R., U. Figueroa V., A. Palomo G., E. Favela C., V.P. Álvarez R., C. Márquez H. y A. Moreno R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia* 31(3): 265-272.
- Rodríguez-Fuentes H., S. Muñoz L., y E. Alcorta G. 2006. El Tomate rojo; sistema hidropónico. Ed. Tillas, México. 49 p.
- Rodríguez-Rodríguez, M. D. y M. P. Rodríguez-Rodríguez. 2004. Plagas del tomate. pp. 263-281 In: *Namesny Tomates producción y comercio*. Ed. Ediciones de Horticultura S.L.

- Ryan, M. 2003. Compost Tea Production, Application, and Benefits. The Rodale Institute. pp. 501(3). Disponible en: <http://fpath.cas.psu.edu/RESEARCH/CompostTeaFS.pdf>. Fecha de recuperación: 05/11/09.
- Samperio-Ruiz, G. 2004. Un paso más en la hidroponía. ed. Diana, S.A. de C.V., México, pp. 57-72.
- Sánchez, C. V. 2001. Manejo de enfermedades del tomate. In: Curso del INCAPA "Manejo integrado de plagas y enfermedades en tomate, chile y papa". Guadalajara, Jalisco, México. Pp 22-39.
- Sánchez-del Castillo, F. 2008. Problemática agrícola de México In: Memoria del Curso de especialización en Horticultura protegida; Modulo uno Fundamentos, México. 40p.
- Schmidt J., R. H. 1989. The arid zones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 16: 241-256.
- Schuster, D. J. 2001. Plagas. Pp. 53-55. In: Plagas y enfermedades del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. México.
- Segura-Catruita, M. A., P. Preciado R., G. González C., J. E. Frías R., G. García L., J. A. Orozco V. y M. Enríquez S. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Revistas Científicas de América latina y el Caribe, España y Portugal.* 33(12): 923- 928.
- Sharma, S., Pradhan, K., Satya, S., Vasudevan, P. 2005. Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses-A Review. *J. Am. Sci.* 1(1): 1-16.

- Singhn B., A. K. Khare., D. S. Bhargava and S. Bhattacharya. 2005. Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (Perrier, 18789) *Applied Ecology and Environmental Research* 4(1): 85-9.
- Soto-Bravo, F. 2007. Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo ambiente protegido. Instituto Nacional de Aprendizaje. Costa Rica. Pp. 1-7. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP1\(4\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP1(4).pdf). Fecha de recuperación: 17/10/09.
- Strange, M. 2000. Fresh-Market Tomato Production in California. University of California Division of Agriculture and Natural resources. San Diego. Pp.1-8. Disponible en: <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8017.pdf> . Fecha de recuperación: 27/10/09.
- Tüzel, R.Z. Eltez. 2002. Organic tomato production in the greenhouse. p. 08. ISHS Acta Horticulturae 659: VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition.
- Tuzel, Y., y Yagmar B. 2003. Organic tomato produced under greenhouse conditions. Disponible en: http://www.actahort.org/books/614/614_114.htm. Fecha de recuperación: 3/10/09.
- Urrestarazu-Gavilan, M.. 2004. Tratado de cultivos sin suelo. 3ª edición. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Almería. 914 p.
- Valadares-Veras, L. R. y J. Povinelli. 2004. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. *Eng. Sanit. Ambient.* 9(3); 218-224.

Velasco-Hernández E., I. Miranda V. R. Nieto A. y H. Villegas R. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. Revista Chapingo Serie Horticultura, 10(2): 239-264.

Velasco-Velasco J., R. Ferrera, C. y J. J. Almaraz S. 2003. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cascara. Terra 19(3): 241-248.

Zaidan, O. y Avidan, A. 1997. Curso internacional de Hortalizas. CINDACO. Shefayim, Israel.

APENDÍCE

APÉNDICE

Cuadro A.1 Resultados de análisis químicos para determinar los elementos presentes en vermicompost, arena y tratamientos utilizados para realizar el experimento.

Sustratos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
	%	ppm	meq/100g		meq/lto				ppm	
Vermicompost	1.555	879.12	14.7	10.67	12.345	4.304	13.08	8.64	8.04	10.86
Arena	.00839	4.49	.109	0.049	0.082	3.043	12.72	5.31	2.1	3.9
T1	.1745	244.75	2.461	5.28	1.56	3	12.96	5.19	4.35	6.72
T2	.175	234.15	1.84	2.14	1.06	1.652	11.91	5.37	3.3	6.21
T3	.087	145.85	.844	26.696	.90	40.543	12.06	5.31	2.94	5.82

Cuadro A.2 Resultados de análisis químicos (conductividad, Materia orgánica, CIC, ph) y físicos (Densidad y Textura), para determinar las diferentes características presentes en vermicompost, arena y tratamientos utilizados para realizar el experimento.

Sustratos	Conductividad	M.O	CIC	Ph	Densidad	Textura
	Ms/cm	%	meq/100		gr/cm ³	
Vermicompost	31.9	24.65	20	8.52	.694	migajon arcillo arenoso
Arena	0.554	.201	4.5	7.48	1.470	migajon arenoso
T1	2.420	2.80	4	8	1.315	migajon arenoso
T2	1.892	1.77	8	7.97	1.388	migajon arenoso
T3	1.435	1.32	6	7.94	1.449	migajon arenoso

Cuadro A.3 Análisis de varianza para la variable de Rendimiento, en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	757.71	252.6	5.63	0.0054
Repeticiones	7	64.91	9.27	0.21	0.9802
Error	21	942.58	44.88		
Total	31	1765.21			

C.V= 14.8%

Cuadro A.4 Análisis de varianza para la variable Peso del Fruto, en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	115.75	38.6	0.81	0.5005
Repeticiones	7	179.88	25.7	0.54	0.7931
Error	21	995.7	47.41		
Total	31	1291.3			

C.V= 11.98%

Cuadro A.5 Análisis de varianza para la variable N° de Frutos, para los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	109.75	36.583	5.11	0.0082
Repeticiones	7	30	4.285	0.60	0.7498
Error	21	150.25	7.15	1.95	
Total	31	290			

C.V= 14.5%

Cuadro A.6 Análisis de varianza para la variable Diámetro Polar, en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.90	0.363	3.83	0.024
Repeticiones	7	0.49	0.07	0.74	0.63
Error	21	1.99	0.094		
Total	31	3.57			

C.V= 6.1%

Cuadro A.7 Análisis de varianza para la variable Diámetro ecuatorial, en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.9	0.301	2.15	0.12
Repeticiones	7	0.82	0.11	0.84	0.56
Error	21	2.94	0.14		
Total	31	4.67			
C.V= 8.89%					

Cuadro A.8 Análisis de varianza para la variable de Sólidos Solubles, en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	6.16	2.05	24.9	0.0001
Repeticiones	7	0.32	0.046	0.56	0.779
Error	21	1.73	0.082		
Total	31	8.22			
C.V=6.07%					

Cuadro A.9 Análisis de varianza para la variable Espesor de pulpa en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	4.26	1.42	6.25	0.0033
Repeticiones	7	0.81	0.11	0.51	0.814
Error	21	4.78	0.22		
Total	31	9.86			
CV=9.14%					

Cuadro A.10 Análisis de varianza para la variable de número de Lóculos en los tratamientos evaluados. UAAAN-UL 2008.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.26	0.08	6.1	0.003
Repeticiones	7	0.13	0.01	1.29	0.3
Error	21	0.30	0.014		
Total	31	0.698			
C.V= 5.10%					

Cuadro A.11 Concentración de elementos nutritivos en el agua de riego (ppm).

Estado de la planta	N	P	K	Ca	Mg
	(ppm)				
Transplante a floración	100 – 120	40 – 50	150 – 160	100 – 120	40 – 50
Cuajado primer racimo	150 – 180	40 – 50	200 – 220	100 – 120	40 – 50
Primer racimo a cosecha	80 – 200	40 – 50	230 – 250	100 – 120	40 – 50

Fuente: (Zaidan y Avidan, 1997)

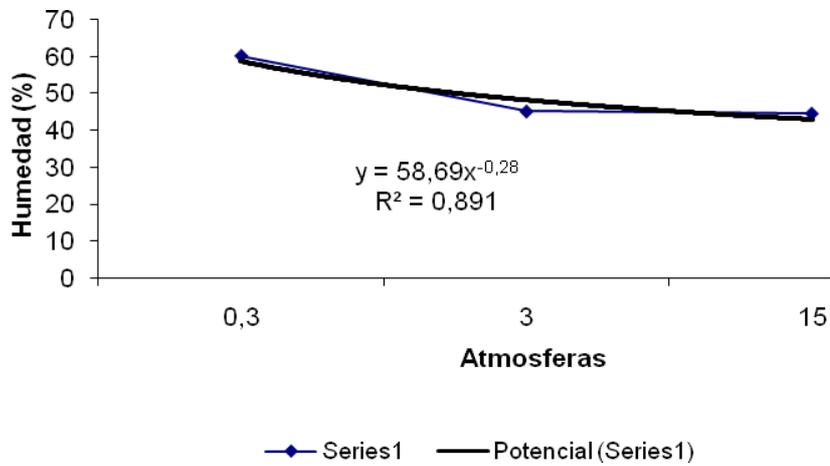


Figura A.1 Curva de retención de humedad del vermicompost con tres diferentes atmosferas, sustrato utilizado en los tratamientos evaluados.

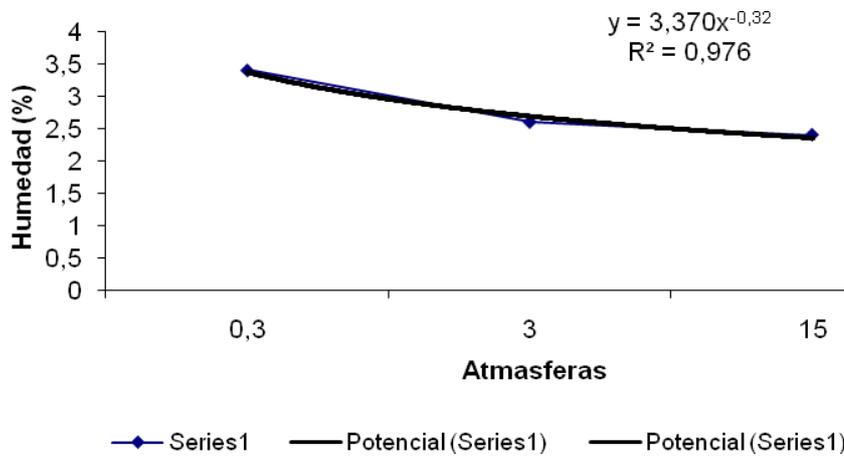


Figura A.2 Curva de retencion de humedad de la arena, (testigo) con tres diferentes atmosferas, sustrato utilizado en los tratamientos evaluados.

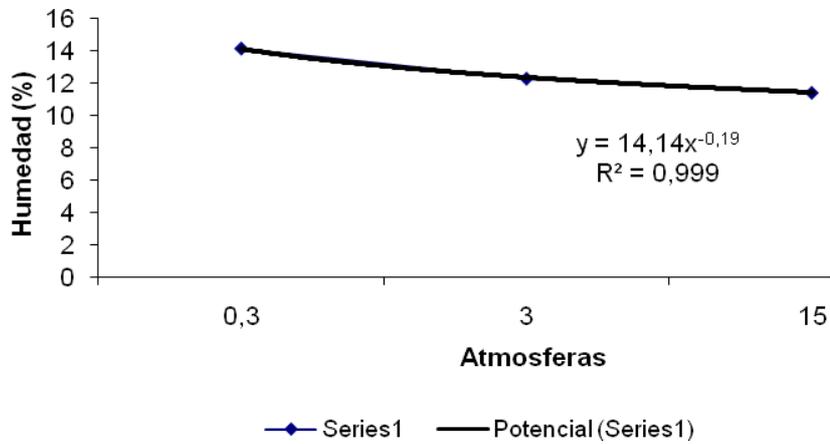


Figura A.3 Curva de retencion de humedad para el tratamiento T1 con tres diferentes atmosferas, en la evaluacion de sustratos.

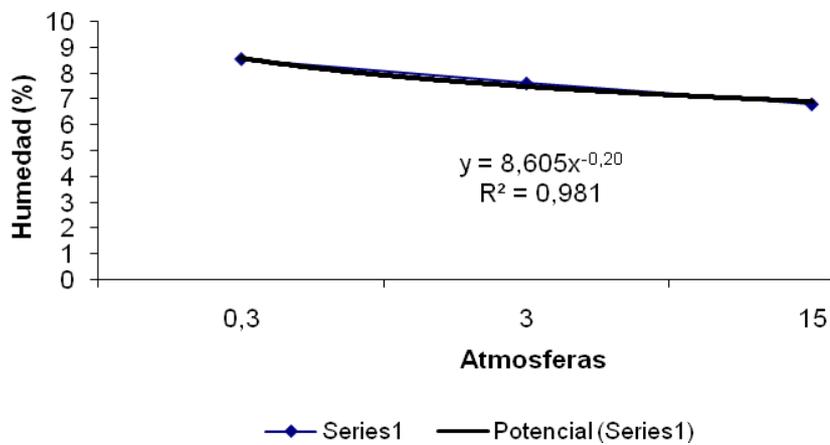


Figura A.4 Curva de retencion de humedad para el tratamiento T2 con tres atmosferas, en la evaluacion de sustratos.

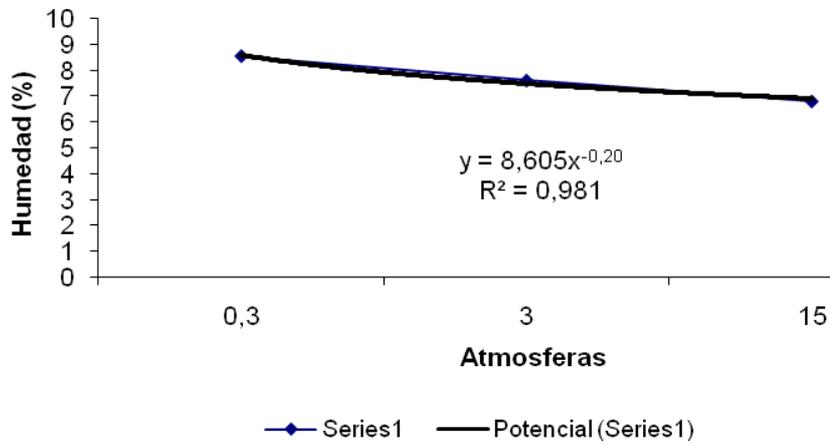


Figura A.5 Curva de retencion de humedad para el tartamiento T3 con tres diferentes atmosferas en la evaluacion de sustratos.