INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD MICHOACÁN

SUSTRATOS ORGÁNICOS Y BIOFERTILIZANTES PARA EL CULTIVO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN:
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

PRESENTA:
HUGO SALAZAR ROJAS

DIRECTORES DE TESIS:
DR. JOSÉ VENEGAS GONZÁLEZ

DRA. MARÍA VALENTINA ANGOA PÉREZ

Jiquilpan, Michoacán, México. Noviembre de 2011

SIP-14-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Mich; siendo las 13:00 horas del día 07 del mes de Diciembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de **CIIDIR – MICH.** para examinar la tesis titulada:

Sustratos orgánicos y biofertilizantes para el cultivo de jitomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en invernadero.

Presentada por el alumno:

SALAZAR	**ROJAS**	**HUGO**
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	4	7	2

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron ***APROBAR LA TESIS***, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. JOSE VENEGAS GONZÁLEZ

DRA. MARIA VALENTINA ANGOA PÉREZ

DR. CARLOS VICTOR MUÑOZ RUIZ

DRA. HORTENCIA GABRIELA MENA VIOLANTE

DR. LUIS FERNANDO CEJA TORRES

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Instituto Politécnico Nacional
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR - IPN - U- MICH.

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. GUILLERMO HERRERA ARREOLA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Jiquilpan Michoacán el día 18 del mes Noviembre del año 2011, el (la) que suscribe Hugo Salazar Rojas alumno (a) del Programa de Maestría en ciencias en producción agrícola sustentable con número de registro B091472, adscrito al CIIDIR IPN Unidad Michoacán, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. José Venegas González y cede los derechos del trabajo intitulado Sustratos orgánicos y biofertilizantes para el cultivo de jitomate (*Solanum licopersicum* L.) en invernadero, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección shaqueswilliams@hotmail.com, jvenegasg@ipn.mx, valeangoa@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Hugo Salazar R.

Hugo Salazar Rojas

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A la divinidad absoluta por darnos la oportunidad de la vida.

Al Instituto Politécnico Nacional, por el financiamiento económico otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Jiquilpan, por darme esta oportunidad de lograr otra meta más en mi vida.

Al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Unidad Irapuato), especialmente al personal del laboratorio de bioquímica ecológica, y afectuosamente a la M. C. Rosalinda Serrato F., por su apoyo, confianza y atención brindado para el desarrollo de mi investigación.

Al Dr. José Venegas González, por su amistad, confianza, atención, respeto, apoyo, paciencia y orientación en mi formación de maestría.

A la Dra. María Valentina Angoa Pérez, por su confianza, apoyo y asesoría precisa en la realización de mi trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Olalde Portugal, por su gran apoyo, confianza, certeza y precisión de sus observaciones y recomendaciones en la realización de mi trabajo de investigación.

A la Dra. Hortensia Gabriela Mena Violante y al Dr. Luis Fernando Ceja Torres, por su apoyo, amistad y asesoría durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

A la Técnico Laboratorista Alicia Ochoa Navarro, por su invaluable amistad e incondicional apoyo y orientación en los trabajos propios del desarrollo de mi investigación.

A la M. C. Blanca Elizabeth López Ramos, al M. C. Rafael Zamora Vega y al Dr. Heriberto Méndez Cortés, por su gran apoyo y por haberme enseñado el verdadero valor de la amistad.

Al todo el personal del CIIDIR MICHOACAN que contribuyó de manera directa o indirecta en el desarrollo de mis estudios de maestría.

DEDICATORIA

A mis padres: JOSÉ SALAZAR GUILLEN Y MARÍA ROJAS ROSAS

A mi hija: VANIA NAOMI SALAZAR AYALA

A mis hermanos: ISRAEL, JOSÉ ULISES, CARLOS NOÉ, Y MIRIAM

A mi esposa: ADRIANA AYALA GARCÍA.

A mis abuelos: CARLOS ROJAS, AMALIA ROSAS, JOSÉ SALAZAR Y FRANCISCA GUILLEN. (*q. e. p. d.*)

A mi suegra: EVELIA GARCÍA

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 4
DEDICATORIA 5
CONTENIDO 6
ÍNDICE DE FIGURAS 9
ÍNDICE DE TABLAS 10
RESUMEN 1
ABSTRACT 3
I. INTRODUCCIÓN 4
II. REVISIÓN DE LITERATURA 10
2.1. Sustratos de cultivo 10
2.1.1 Propiedades de los sustratos 11
2.1.1.1 Características físicas de los sustratos 11
2.1.1.2 Características químicas de los sustratos 12
2.1.1.3 Características biológicas de los sustratos 14
2.1.1.4 Clasificación de materiales utilizados en la elaboración de sustratos 15
2.1.2 Criterios de selección de materiales para sustratos 16
2.1.3 Elaboración de sustratos a partir de composts y otros materiales 17
2.1.3.1 Velocidad de descomposición 17
2.1.3.2 Efectos de los productos de descomposición 17
2.1.4 Inventario de materiales utilizados como sustratos: clasificación 17
2.1.5 Los sustratos y el ambiente 19
2.1.5.1 El impacto ambiental de los sustratos 19
2.1.5.2 Nuevos materiales utilizados como sustratos: biodegradables y/o residuales 20
2.2. Polvo de Fibra de Coco 22
2.3. Compostaje 24
2.3.1 Aspectos microbiológicos en el compostaje 25
2.3.2 Aspectos nutrimentales en el compostaje 25
2.3.3 Aspectos importantes para determinar el uso de composta 28
2.4. Cascarilla de Arroz 28

2.5. El Jitomate 29
2.6. Biofertilizantes 30
2.6.1 Hongos micorrízicos arbusculares 31
2.7. Lixiviados de Vermicompost 33
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 34
3.1. Objetivo General 34
3.1.1. Objetivos Específicos 34
3.1.2. Hipótesis 35
IV. MATERIALES Y MÉTODOS 36
4.1. Ubicación y Recolección de Materiales 37
4.1.1. Materias primas para la elaboración del sustrato base (S2) 37
4.1.2. Material vegetal y material biológico 38
4.1.3. Materiales complementarios 40
4.2. Mezcla de Materiales 40
4.3. Diseño y Montaje del Experimento 43
4.4 Toma de Datos Agronómicos 45
4.5. Caracterización Física y Química de Sustratos y Material Foliar 46
4.6. Análisis Estadísticos 47
V. RESULTADOS 49
5.1. Sustratos Orgánicos como medio de Cultivo para la Producción Orgánica de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro 49
5.2. Cinética de Desarrollo de Plantas de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso 53
5.3. Producción de Fruto por Planta de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso 55
5.4. Porcentaje (%) de Pérdida de Peso en Jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso Durante 21 Días de Anaquel (dda) 57
VI. DISCUSIÓN 59
6.1. SUSTRATOS ORGÁNICOS COMO MEDIO DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro 59
6.2. CINÉTICA DE DESARROLLO LONGITUDINAL DE PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro 64

6.3. RENDIMIENTO EN GRAMOS DE FRUTO POR PLANTA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro 67
6.4. PORCENTAJE (%) DE PÉRDIDA DE PESO EN JITOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro..... 69
VII. CONCLUSIONES GENERALES 72
VIII. PERSPECTIVAS 73
IX. LITERATURA CITADA..... 76
X. ANEXO 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Diagrama de flujo del trabajo realizado en esta investigación. 36

Figura 2.- Cinética de desarrollo de plantas de Jitomate *cv*. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y (p≤0.05). 53

Figura 3.- Rendimiento en gramos de fruto por planta de Jitomate cv. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y (p≤0.05). 55

Figura 4.- Pérdida de peso en vida de anaquel de frutos de Jitomate cv. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y (p≤0.05). 57

#

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Materiales y sus diferentes proporciones que constituyen el S2. 37

Tabla 2.- Características generales del Jitomate (Solanum lycopersicum L.) cv. Toro, proporcionadas por la empresa MOJARRO´S SERRES y Harris Moran Seed Company. 39

Tabla 3.- Tratamientos utilizado en el trabajo..... 43

Tabla 4. Caracterización físico química del S2 y SA, y de los sustratos usados en el experimento post cosecha..... 49

Tabla 5. Análisis de los macronutrimentos de los diferentes sustratos usados en el experimento..... 51

Tabla 6. Análisis de los micronutrimentos de los diferentes sustratos usados en el experimento..... 52

Tabla 7.- Cinética de desarrollo de plantas de Jitomate cv. Toro. 99

Tabla 8.- Rendimiento de fruto por planta de Jitomate cv. Toro. 100

Tabla 9.-Pérdida de peso en vida de anaquel de frutos de Jitomate cv. Toro..... 100

RESUMEN

En este trabajo se estudió el potencial de sustratos orgánicos a base de subproductos y desechos orgánicos industriales, adicionados con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), leonardita (L) y/o lixiviados de vermicompost (LV), empleando como cultivo indicador el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro respecto a un suelo agrícola (SA) franco arcilloso bajo condiciones de invernadero, con el fin de valorar la posible utilización de este tipo de sustratos como autosuficientes en la producción orgánica. Los tratamientos empleados fueron: T1) sustrato base (S2); T2) S2 + LV; T3) S2 +LV+L; T4) S2 + HMA y T5) SA + Fertilizante. Se hicieron análisis físicos y físico-químicos a los sustratos antes y después del cultivo. Los resultados obtenidos en las variables agronómicas (desarrollo longitudinal (cm) y rendimiento de fruto (g/planta)) y de calidad (% de pérdida de peso en 21 días de anaquel (dda)) en el cultivo, muestran la superioridad en el potencial de estos sustratos orgánicos frente al SA e incluso entre ellos mismos. En cuanto al desarrollo de las plantas de jitomate a 70 días después del trasplante (ddt) los tratamientos influyeron significativamente ($\alpha<0.05$) en dicha variable siendo el T4 el que mayor promoción del desarrollo presentó superando en desarrollo longitudinal en 52% al T5 el cual presentó el menor desarrollo. En la variable de rendimiento también se apreció como el T4 permitió la obtención de un significativamente mayor rendimiento en comparación con T1 y T5 superándolos en 56 y 140% respectivamente. Para el caso de la pérdida de peso a los 21 dda también se registraron diferencias significativas ($\alpha<0.05$) en donde el T3 presentó la mayor pérdida (7% más peso, que el T5), siendo los frutos de este último (T5) los que menor pérdida de peso tuvieron durante los 21 dda. Las características físicas de estos sustratos se encuentran dentro de los niveles óptimos y en algunos casos aún mejor, según la literatura, como sustratos para uso hortícola. En relación a las variables de medición y al tipo de cultivo, se pudo apreciar que los sustratos orgánicos mostraron superioridad significativa con respecto a las plantas cultivadas en SA, ya que al parecer uno de los principales problemas que afectó al SA fue la

compactación del mismo. De esta forma, este tipo de sustratos, sobre todo el T4 y T3 pudieran ser potencialmente útiles como parte de los paquetes tecnológicos de la agricultura orgánica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro; no obstante hace falta realizar más estudios para afirmar esto de manera categórica.

ABSTRACT

In this work it was studied the potential of organic substrates based on byproducts and industrials organic wastes, added with arbuscular mycorrhizal fungi (HMA), leonardite (L) and / or vermicompost leachate (LV), using as an indicator crop tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro respect to an agricultural soil (SA) clay loam under greenhouse conditions, with the purpose of evaluate the possible use of this kind of substrates as self-sufficient in organic production. The treatments used were: T1) base substrate (S2), T2) S2 + LV; T3) S2 + LV + L, T4) S2 + HMA and T5) SA + Fertilizer. It were make physical and physico-chemical analysis to the substrates before and after cultivation. The results obtained in the agronomic variables (longitudinal development (cm) and fruit yield (g / plant)) and of quality (% of weight loss in 21 days shelf life (dda)) in culture, show the superiority in the potential of these organic substrates compared to SA and even among themselves. Regarding the development of tomato plants at 70 days after transplanting (ddt) treatments significantly influenced (α <0.05) that variable being the T4 which promoted a significant increase of compared to T5 (52%) longitudinal development at 52% to the T5 which showed the lowest development. T4 showed a significantly hiegher yield compared to t1y t5 (140 and 56% respectively) a significantly higher yield compared to T1 and T5. In regard to weight loss at 21 dda T3 had a higher weight loss than T5 (7%), being fruits of T5 which had less weight loss during the 21 dda. Physical characteristics of these substrates were within the optimum levels and in some cases even better, as substrates for horticultural use according to the literature. Regarding to the measured variables and the type of crop, it was observed that organic substrates showed significant superiority compared to plants grown in SA. One of the main problems affecting the SA was its compaction. Thus, this type of substrates, especially the T4 and T3 could be potentially useful as part of technological packages of organic agriculture of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro, however more research is needed to affirm this categorically.

I. INTRODUCCIÓN

El abasto alimenticio de una sociedad en constante expansión ha conllevado por más de 6 décadas a prácticas agrícolas altamente productivas y eficientes, esto en Kg por unidad de producción, sin embargo, la explotación y el uso inmoderado de agroquímicos resultado de dichas prácticas, han contribuido al deterioro de los diferentes ecosistemas, dañando seriamente el equilibrio del planeta. Por lo antes mencionado, las prácticas agrícolas basadas en la producción orgánica de alimentos ya no son solo una alternativa sino una necesidad, así como lo es que dichas prácticas impliquen una planeación estratégica que genere sistemas de producción agrícola basados en el reciclaje tanto de residuos como de subproductos, complementándose además con el uso eficiente de biofertilizantes y sistemas propios de este tipo de agricultura. Al igual que en un suelo naturalmente fértil, la microbiología en el sistema sustrato-planta es vital en la producción orgánica, ya sean microorganismos nativos y/o introducidos los cuales participen en dichos sistemas.

Unido a los cambios tecnológicos, en los últimos años se ha venido sustituyendo de manera gradual en la producción en invernadero, el uso del suelo por otros tipos de sustratos (Nuez *et al,* 1995). La principal razón de esta sustitución ha sido la existencia de factores limitantes para la continuidad del cultivo intensivo del tomate en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas (Abad, 1991; Cánovas, 1993; Martínez y García, 1993).

Por otro lado, la tendencia en los consumidores es preferir alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial los consumidos en fresco (Márquez *et al.,* 2006); una opción para la generación de este tipo de alimentos es la producción orgánica, en la que no se utilizan fertilizantes ni plaguicidas sintéticos (Anónimo, 2003; Alvajana *et al.,* 2004; Anónimo, 2004); sin embargo, la certificación orgánica implica un periodo de transición de tres a cinco años sin aplicación de algún producto sintético al suelo (Gómez *et al.,* 1999; Gewin,

2004), por lo que el uso de sustratos orgánicos reduciría considerablemente el periodo de transición o lo evitaría Márquez *et al.* (2006). Ya que el jitomate orgánico en México alcanza un precio hasta de 5.84 veces mayor que el convencional; producirlo en invernadero, aumentaría los rendimientos y por ende el beneficio económico para el productor (Márquez *et al.* 2008).

De igual manera, la producción en invernadero aumenta los rendimientos, según se ha observado (Berenguer *et al.,* 2003; Incrocci *et al.,* 2003), es decir, producir orgánicamente en dicho sistema aumentaría la relación beneficio-costo, además eliminaría algunos de los problemas de la agricultura orgánica citados por Gómez *et al.* (1999), ya que se garantizarían frutos durante todo el año, se evitarían los contratiempos ambientales y, sobretodo, aumentarían las ganancias debido a la mayor productividad con relación a la producción en campo (Márquez *et al.,* 2006).

El sustrato, además de sostén, deberá aportar cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo Márquez *et al.* (2006). Una alternativa, es mezclar composta con medios inertes (Castillo *et al.,* 2000; Hashemimajd *et al.,* 2004) o con materiales reciclados de desechos industriales, agrícolas y/o ganaderos.

En relación a los composts, Raviv *et al.* (2004), señalaron que los nutrimentos contenidos en el compost satisfacen las demandas del tomate en los dos primeros meses después del trasplante; así mismo, Ravivi *et al.* (2005), mencionaron que el compost cubrió los requerimientos durante cuatro meses después del trasplante en tomate. Por su parte Márquez y Cano (2005), determinaron que los elementos nutritivos contenidos en el compost, fueron suficientes para obtener producciones aceptables de tomate cherry, al igual que Márquez *et al.* (2006) quienes determinaron la utilización de composts en los sustratos para producir orgánicamente jitomate cherry en invernadero sin la utilización de fertilizantes, permitió obtener rendimientos aceptables sin demeritar la calidad de los mismos, ya que igualaron al testigo con fertirrigación.

En este sentido, para la elaboración de sustratos, han ido apareciendo en el mercado materiales “ecológicamente correctos”, como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables (Burés, 1999). Abad y Noguera (2000) concluyeron que existen numerosos materiales que pueden ser utilizados exitosamente como sustratos en la producción hortícola.

En México se generan residuos sólidos orgánicos que se pueden utilizar con un valor agregado como sustratos agrícolas reduciendo de esta manera el problema de la contaminación ambiental; dichos residuos comprenden estiércoles, basura orgánica, esquilmos agrícolas y sub-productos industriales. Pese a que en México hay esta amplia variedad de materiales (*i. e.*, polvo de fibra de coco, tezontle, perlita, pumecita, tepezil, composts, turba, corteza de pino, cascarilla de arroz, entre otros) que se emplean como sustratos, se le ha dado poca importancia a su caracterización la cual desempeña un papel clave en el manejo agronómico del cultivo (Vargas et al., 2008) aunado a una correcta validación de los diferentes biofertilizantes, ya sean nativos o exóticos, en combinación con los diferentes sustratos para horticultura.

Es aquí donde la investigación juega un papel importante, para estudiar y ensayar las mezclas adecuadas, establecer la necesidad de biotransformar los distintos materiales, y evaluar el impacto social y ambiental que la producción de estos materiales trae consigo (Pastor, 1999; Riviere y Caron, 2001) dando así continuidad al desarrollo de las ciencias agrícolas complementadas con el uso de materiales biológicos como lo son los biofertilizantes.

En Europa y EE.UU. el material básico para la horticultura es turba. El uso de estos materiales tiene un impacto negativo en el ambiente por lo que es importante buscar sustitutos (Flores *et al.* 2008) La turba se forma por la descomposición parcial de musgos, juncos y juncias; se encuentra principalmente en zonas pantanosas de Canadá, norte de Europa y Rusia. Su extracción causa degradación y pérdida de pantanos, pues se lleva a cabo a velocidades no sustentables (Stamps y Evans,

1997). En México la turba es de importación y de alto costo, otro motivo para buscar un sustituto (Flores *et al.* 2008).

En México, el deterioro ecológico causado por la agricultura tiene diversas causas, dentro de las cuales están: el manejo inadecuado de los recursos naturales, intenso uso de agroquímicos, prácticas agrícolas mal empleadas y fuerte dependencia de insumos externos. Esto hace necesario implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos que tienden hacia una agricultura sostenible. En este sentido, la aplicación de hongos endomicorrízicos arbusculares (HMA), los lixiviados de vermicompost y el reciclaje de desechos, son alternativas que pueden emplearse en la producción orgánica (Velasco *et al.* 2001).

La importancia y manejo de microorganismos benéficos se ha incrementado a tal grado que en la actualidad se ha generado todo un movimiento comercial de los mismos. Así, la producción y comercialización de productos biofertilizantes está encaminada al fortalecimiento de sistemas de producción sostenibles. Esto en respuesta a la preocupación que a nivel mundial se ha generado en la demanda de productos alimenticios sin o casi nula aplicación de pesticidas, que generen contaminación ambiental (en la que actualmente estamos inmersos), y que no impacten en la salud humana como agentes tóxicos y cancerígenos (Alarcón y Ferrera, 2000).

La utilización de microorganismos ha sido considerada como elemento importante en la agricultura, mediante el entendimiento de su actividad en las propiedades del suelo y en la planta misma. Así a partir de la domesticación de plantas con fines de alimentación humana, el hombre no solo modificó la diversidad vegetal al utilizar sistemas de producción de monocultivos, sino que también realizó cambios en las comunidades microbianas que interaccionan entre sí en el suelo (Alarcón y Ferrera, 2000).

Es preciso un cambio en los paradigmas de la nutrición vegetal tradicional, ya que las producciones agrícolas actuales no pueden prescindir totalmente del empleo de fertilizantes minerales, los cuales constituyen un componente eficaz para hacer aumentar los rendimientos de los cultivos y aunque son innumerables las alteraciones producidas por el impacto ecológico que provoca su uso desmedido e inapropiado (Guerrero *et al.*, 1996), las luchas por un cambio en el uso de materiales es trabajo y compromiso de todo actor y consumidor de los productos agrícolas.

Por otra parte, Molina et al. (1996), han planteado que la aplicación indiscriminada de los fertilizantes minerales y pesticidas contaminan el suelo, reducen la biodiversidad, aumentan los riesgos de salinización, contaminan las aguas superficiales y subterráneas y disminuyen las reservas energéticas del suelo.

La sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas (Mejía, 1995). Así pues, de los elementos más valiosos están los biofertilizantes, alternativa sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que son un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Mejía, 1995), no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Alarcón *et al*. 2001; Alfonso *et al.*, 2005).

En este sentido, muchos países desarrollados han cambiado las estrategias de cultivo hacia aspectos que involucran el uso de elementos biológicos con el fin de producir alimentos en forma orgánica, la cual confiere al producto obtenido un valor agregado que lo hace aún más atractivo para su consumo y compra (Alarcón y Ferrera, 2000).

En relación al uso de elementos biológicos particularmente los HMA, su asociación con las plantas no es específica puesto que cualquiera de los HMA puede colonizar a

cualquiera de las plantas susceptibles de formar la simbiosis. Sin embargo, algunos hongos benefician en mayor grado a un determinado hospedero en comparación con otros y, fundamentalmente, muestran un cierto grado de adaptación para establecer la micorriza y funcionar bajo determinadas condiciones edafoclimáticas (Pozo, 1999), hecho que evidencia las marcadas diferencias, no solo estructurales, sino también funcionales existentes entre especies e incluso entre cepas pertenecientes a una misma especie (Rodríguez *et al.* 2004). De ahí la importancia de conocer estas diferencias con vistas a seleccionar el hongo adecuado para cada interacción, lo cual permitirá obtener resultados satisfactorios (Rodríguez *et al*., 2004).

Por otro lado, González *et al*. (2000), reportaron que estudios con diferentes sustratos potenciales, conteniendo compuestos de bajo costo y alta disponibilidad deberían continuarse para poder seleccionar sustratos económicos y con alta calidad física y química, donde la eficiencia de la inoculación micorrízica pueda incrementarse, y por tanto expresarse en beneficio del cultivo.

Ya sea el uso de compostas, el reciclaje de residuos sólidos orgánicos y/o el empleo de HMA en la producción orgánica de hortalizas, es conveniente reforzar la difusión de los resultados para incrementar el rendimiento de los cultivos e implementar la agricultura sostenible en México (Irízar *et al.* 2003).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sustratos de cultivo

El término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno (Hartmann y Kester, 2002).

De acuerdo con Hanan *et al*. (1978), también es aquella mezcla formada por materiales en estado sólido, líquido o gaseoso que deben encontrarse en proporciones adecuadas para que las plantas tengan crecimiento satisfactorio.

Debe señalarse que el cultivo de las plantas en sustrato, permite un control de la rizósfera particularmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrimentos (Abad y Martínez, 1996). Las funciones de un sustrato agrícola consisten en proporcionar una rizósfera adecuada para el buen desarrollo y anclaje de las raíces de las plantas (Abad, 1993; Abad y Noguera, 1999), así como un buen medio nutrimental del cultivo que contenga los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas.

El sustrato es un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas y flores en invernadero (Vargas *et al.*, 2008). Burés (1998), señala que de las características físicas y químicas del sustrato depende el manejo del riego y la fertilización, mientras que en la caracterización biológica se evalúa la estabilidad del material y la liberación de elementos o sustancias que pudieran influir en el cultivo (Lemaire *et al*., 2003).

Las propiedades físicas de un sustrato son consideradas las más importantes, ya que si éstas son inadecuadas, difícilmente se podrán mejorar una vez que se ha

establecido el cultivo, por lo que su caracterización previa es imperativa (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999).

2.1.1 Propiedades de los sustratos

Las propiedades físicas del sustrato son de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta, ya que colocada en el contenedor, resulta prácticamente imposible modificarlas. Es por esto, que debe prestarse especial atención a la "retención de agua y aireación", condición vital para la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo; sin embargo, también es necesario analizar las propiedades químicas y biológicas para establecer el mejor manejo de ellos (Ansorena, 1994; Pastor, 1999).

2.1.1.1 Características físicas de los sustratos

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma el espacio poroso, que pueden estar llenos de agua o aire, y que corresponden a espacios situados entre las partículas del sustrato o dentro de las mismas partículas, las propiedades físicas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas que forman el material, la distribución granulométrica y el tipo de empaquetamiento (Burés, 1997). La combinación de la estructura y las características del material determinarán las propiedades físicas y químicas del mismo (Rodríguez, 2004). De igual manera, desde el punto de vista físico, los sustratos para las plantas pueden considerarse como material sólido intercalado con espacios vacíos o poros (Bunt, 1988). Por ello, es necesario hacer su caracterización tanto en su fase sólida, como en su fase porosa (Rodríguez, 2004). Es importante resaltar que los sustratos, al igual que los suelos, muestran una serie de complejas interacciones entre sus constituyentes que se modifican con el tiempo, lo que hace difícil definir por completo su estado físico en un momento dado (Riviere, 1992, citado por Orozco, 1997).

Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad total (85 a 90% en volumen) y capacidad de retención de agua (31 a 40% en volumen a 50 cm de columna), unidos a un drenaje rápido y buena aireación (Burés, 1997).

Las propiedades físicas más importantes, según Burés (1997), que permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, o comparar diferentes materiales son: 1) Densidad aparente y densidad real (g cm^{-3}) y 2) Capacidad de retención de agua (%).

1) Densidad aparente y densidad real. La densidad aparente de un sustrato (Da), se define como la relación entre la masa de una muestra seca y el volumen del sustrato húmedo, es decir, entre mayor es el espacio poroso menor es la densidad aparente (Bunt, 1988). La densidad real (Dr) es el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos, siendo el valor propio del material y, a diferencia de Da, no depende del grado de compactación ni del tamaño del partícula (Ansorena, 1994). Los diferentes minerales presentan diversas densidades de partículas, pero para fines prácticos puede asumirse un valor de 2.65 g/cm^3, aunque los materiales orgánicos tienen también diferentes densidades, 1.55 g/cm^3 correspondiente a la densidad del cuarzo es un buen promedio (Rodríguez, 2004). La diferencia entre materiales minerales y orgánicos es que los últimos tendrán densidades más bajas que aquellos ricos en minerales (Handreck y Blank, 1994).

2.1.1.2 Características químicas de los sustratos

Las propiedades químicas y físico-químicas de un sustrato se derivan de la composición elemental de los materiales y del modo en que los elementos se encuentran fijados a éstos y su relación con el medio; además, su reactividad se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo (Rodríguez, 2004); que consiste en el conjunto de reacciones

químicas que tienen lugar por la interacción del agua con el material (reactividad principalmente por disolución e hidrólisis), por interacción de las cargas electroestáticas en la superficie del material que dan lugar al intercambio de iones entre la fase sólida y la fase líquida y por la biodegradación de la materia orgánica (Rodríguez, 2004). Existen varios tipos de reactividad en los sustratos las cuales permiten definir dos tipos extremos desde el punto de vista químico (Burés, 1997):
1) Sustratos químicamente inertes: aquellos que no se descomponen química o bioquímicamente, no liberan elementos solubles de forma notable, ni tienen capacidad de adsorber elementos añadidos a la solución del sustrato, y no existe transferencia de materia entre el material sólido y la solución.

2) Sustratos activos químicamente o no inertes: reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución o reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato, o bien adsorbiendo elementos en su superficie que pueden intercambiar con elementos disueltos en la fase líquida.
Por lo tanto, las propiedades químicas que permiten caracterizar a un sustrato son: conductividad eléctrica, pH, nutrimentos solubles, capacidad de intercambio catiónico, relación carbono/nitrógeno, retención y/o liberación de nutrimentos.

pH: La planta del tomate puede sobrevivir en un amplio intervalo de pH_s del sustrato sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrimentos se suministren en forma asimilable. No obstante, el crecimiento y el desarrollo de la plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas (Nuez *et al*, 1995). El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrimentos, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Lucas y Davis, 1961; Nuez *et al.*, 1995). Con pH entre 5,0 y 7,0, la mayoría de los nutrimentos mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de pH 5,0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc., mientras que por encima de pH 7,0 puede disminuir la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos de Fe, Mn, Cu, Zn, etc. se hacen más solubles al bajar el pH (por debajo de 5,0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos (Nuez *et al*, 1995).

Relación Carbono/Nitrógeno: Este valor se considera como indicador del origen, madurez y estabilidad que pueden tener los sustratos con un alto componente orgánico (Rodríguez, 2004). Se señala como deseable un valor C/N menor a 20 (Raviv *et al*., 1986). No obstante, Bunt (1986), citado por Lemaire (1997), indica que la relación C/N no es suficiente para considerar a un material orgánico como estabilizado, ya que es necesario considerar las formas bioquímicas del carbono que lo constituyen, puesto que los materiales con alto contenido de lignina tienen bioestabilidad más alta que aquellos con hemicelulosa y celulosa, aun cuando después de un proceso de maduración, pudieran presentar valores de la relación C/N cercanos entre sí.

Capacidad de intercambio catiónico: La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como la capacidad de un sustrato para adsorber e intercambiar iones. Se expresa generalmente en $cmol_c\ kg^{-1}$ de sustrato y se mide con la suma de todos los cationes intercambiables o complejo de cambio, asimismo depende del pH (Burés, 1997).

Cuando las plantas en contenedores son fertilizadas por fertirrigación o fertilizantes de lenta liberación, el sustrato necesita tener baja CIC. Es deseable un valor moderado (50-100 $cmol_c\ kg^{-1}$), ya que el suministro de cationes será más constante y las pérdidas de nutrimentos se minimizarán (Handreck y Black, 1994). Por otra parte, Nelson (1991) señala que un nivel entre 10 y 30 $cmol_c\ kg^{-1}$ es apropiado y que si el valor es menor, el sustrato no actuará como reservorio de nutrimentos y llegará a ser necesario aplicar fertilizantes de manera más frecuente.

2.1.1.3 Características biológicas de los sustratos

Todos los sustratos, incluso los relativamente estables, son susceptibles a la degradación biológica continua, por lo que la velocidad a la cual un sustrato se oxida depende de su composición química y de las condiciones físicas del ambiente, entre las que destacan: temperatura, humedad, oxígeno, pH, nutrimentos y la relación

carbono-nitrógeno, así como composición de lignina, celulosa y hemicelulosa y el avance de degradación del sustrato expuesto a la microbiota, la cual es responsable de deficiencia de oxígeno y nitrógeno, así como de la liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato (Cabrera, 1998; Labrador, 2001).

2.1.1.4 Clasificación de materiales utilizados en la elaboración de sustratos

La materia que se utiliza para elaborar sustratos puede dividirse en los que sólo aumentan el espacio poroso y los que participan directamente en el suministro de nutrimentos a la planta, que generalmente son materiales orgánicos; también es posible clasificarlos con base en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, entre otros (Noguera y Abad, 1997):

Según sus propiedades se clasifican en:

- **Sustratos químicamente inertes**. Arena granítica o silícea, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.

- **Sustratos químicamente activos**. Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, polvo de fibra de coco, etc.

Origen de los sustratos orgánicos:

- Natural: se caracterizan por estar sujetos a la descomposición biológica.
- De síntesis: son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).
- A partir de residuos agroindustriales y urbanos.

Los sustratos inorgánicos son de origen:

- Natural: se obtienen a partir de rocas o minerales parcialmente modificados mediante tratamientos físicos simples, los cuales no son biodegradables entre los que destacan; arena, grava, tezontle, piedra pómez, etc.
- Transformados no tratados: obtenidos a partir de rocas o minerales los cuales son tratados por procesos físicos, en ocasiones químicos, que modifican notablemente las características originales de los materiales (agrolita, lana de roca, vermiculita, arcilla, expandida, etc.).
- Residuos y subproductos industriales: son materiales que proceden de diversas actividades industriales (escorias de alto horno, estériles de carbón, etc.).

2.1.2 Criterios de selección de materiales para sustratos

De acuerdo con Reinikainen (1993), el sustrato deberá tener una estructura tal que permita a las raíces penetrar ampliamente dentro de él para extraer suficiente agua, oxígeno y nutrimentos. Por ello, debe seleccionarse de acuerdo con la técnica de desarrollo en vivero. Deberá tener: una densidad aparente que permita que las plantas permanezcan verticales; buena humectación aun después de haberse secado en el contenedor; estructura permanente con baja tasa de contracción y que regule el crecimiento de la planta dándole apariencia compacta y buena proporción altura/flores/follaje, adecuada retención de agua y nutrimentos que les permita a las plantas sobrevivir durante la trasportación y comercialización; que sea limpio y fácil de manejar. La pureza química y biológica, costo, homogeneidad, calidad y disponibilidad del material a largo plazo, también son criterios importantes en la selección de sustratos.

Es evidente que para poder garantizar el éxito de un cultivo, el sustrato debe mantenerse como un factor fijo, es decir, que sus propiedades físicas, químicas y biológicas sean siempre las mismas con el fin de establecer un manejo adecuado (Burés, 1997).

2.1.3 Elaboración de sustratos a partir de composts y otros materiales

Raramente se utilizan como sustratos para plantas en contenedor materiales únicos, puesto que resulta difícil que estos materiales cumplan totalmente las necesidades del cultivo en cuanto a aireación, retención de agua, fertilidad, etc. Por ello, los sustratos comerciales suelen consistir en mezclas de distintas proporciones de materiales diferentes que aportan al conjunto del sustrato las características óptimas. Las especies en que se ha puesto mayor interés para sustituir dicha base es en plantas que por su alto valor justifican el uso de productos especiales para su desarrollo, como son las plantas de ornato, hortalizas y forestales (Rodríguez, 2004).

2.1.3.1 Velocidad de descomposición

La descomposición de la materia orgánica en los medios de cultivo, considerada de modo global, es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición (Nuez *et al,* 1995).

2.1.3.2 Efectos de los productos de descomposición

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa (Nuez *et al,* 1995). Una gran variedad de funciones vegetales, tanto a nivel de célula como de órgano, son afectadas positivamente por los ácidos húmicos y fúlvicos “per se” (Visser, 1986). Las sustancias húmicas actúan, asimismo, como transportadoras de los micronutrientes para las plantas (Chen y Stevenson, 1986).

2.1.4 Inventario de materiales utilizados como sustratos: clasificación

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

La clasificación que se presenta a continuación intenta recoger las diferencias más relevantes desde el punto de vista de la utilización hortícola de los sustratos (Zuang y Musard, 1984; Moinereau *et al*., 1987; Martínez y Burés, 1988).

I. Materiales Inorgánicos (Minerales)

I.1. De origen natural. Se obtienen a partir de rocas minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).

I.2. Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, y a veces también químicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (lana de roca, perlita, arcilla expandida, vermiculita, etc.).

I.3. Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de alto horno, estériles del carbón ladrillo molido, etc.).

II. Materiales Orgánicos

II.1. De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas rubias y negras).

II.2. De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, espuma de urea-formaldehído, poliestireno expandido, etc.).

II.3. Subproductos y residuos de las actividades agrícolas, industriales y urbanas. Muchos materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje para su adecuación como sustratos (pajas de cereales, estiércoles, cortezas de árboles, serrín, fibra de madera, fibra de coco, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

2.1.5 Los sustratos y el ambiente

Durante estos últimos años se viene observando un marcado interés por el cuidado del ambiente, lo que ha facilitado el estudio del impacto ambiental de la actividad agraria sobre la atmósfera, el suelo y las aguas (superficiales y subterráneas).

Desde el punto de vista hortícola, la atención se centra fundamentalmente sobre: 1) La contaminación de las aguas por elementos nutritivos y productos fitosanitarios, y, 2) La contaminación de los suelos por acumulación excesiva de sales y compuestos fitotóxicos (metales pesados, plaguicidas, etc.) (Ramos y Gómez, 1991).
El cultivo del tomate, sin suelo, presenta características diferenciales importantes en comparación con el cultivo en el suelo natural, requiriendo el estudio de su impacto sobre la calidad del aire, los suelos y una consideración especial de las aguas (Ramos, 1993).

2.1.5.1 El impacto ambiental de los sustratos

Los agentes más contaminantes en la industria del cultivo sin suelo del tomate, son (Van *et al*., 1991; Ramos, 1993):

1) La lixiviación de los nutrimentos, particularmente cuando se trabaja con sistemas a solución perdida.

2) El vertido de materiales de desecho, tales como sustratos, sacos o contenedores, láminas plásticas, biomasa vegetal residual, etc.

3) La emisión de productos fitosanitarios.

4) La emisión de gases, especialmente CO_2, y el consumo extra de energía como consecuencia de la calefacción, la iluminación artificial, la desinfección, etc.

Ramos (1993), ha señalado que el mayor problema de residuos en el cultivo hidropónico lo constituyen, sin duda, los materiales utilizados como sustratos. Algunos de estos materiales son utilizados durante un corto período de tiempo (1-2 años) y, consecuentemente, es necesario encontrar formas de eliminación de los mismos, que no presenten problemas de impacto ambiental. El reciclado y la reutilización de estos materiales residuales constituyen la forma más ecológica de tratar el problema de los mismos en los sustratos.

Desde el punto de vista ambiental, la cuestión principal en la elección de un material como sustrato para el cultivo hidropónico del tomate, sería (Vanachter *et al*., 1993): 1) Su durabilidad, y, 2) Su capacidad para ser reciclado posteriormente.

2.1.5.2 Nuevos materiales utilizados como sustratos: biodegradables y/o residuales

Los problemas ambientales planteados por la eliminación de los residuos de los sustratos comúnmente utilizados en el cultivo hidropónico del tomate, ha obligado a la búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustituyentes de los mismos.

La literatura internacional ha acuñado nuevos términos para estos sustratos que son poco agresivos con el medio ambiente: *Ecological growing media, environmentally sound substrates, ecologically friendly substrates*, etc.

El término “biodegradable” se aplica a aquellos materiales que pueden ser descompuestos o degradados con cierta rapidez por los organismos vivos, los más importantes de los cuales son las bacterias aerobias. Los materiales orgánicos presentan la característica de ser biodegradables y, consecuentemente, sus residuos pueden ser reciclados mediante el compostaje y/o la incorporación en los suelos como enmienda orgánica.

La velocidad de descomposición de estos materiales depende: 1) Su relación C/N, y 2) Su composición química (lignina, celulosa y hemicelulosa, principalmente). Ya que la descomposición de la materia orgánica de los sustratos es muy desfavorable desde el punto de vista hortícola tradicional en hidroponia, deberían seleccionarse materiales que no se degradaran rápidamente (Raviv *et al*., 1986; Bunt, 1988), ya que esto afectaría el cálculo de los nutrimentos a incorporar en la solución nutritiva.

Por otra parte, la actividad agrícola e industrial genera abundantes residuos y subproductos, fundamentalmente de naturaleza orgánica, y, por tanto, biodegradables. Estos materiales residuales pueden eliminarse mediante deposición en vertederos, incineración y utilización en Horticultura (como sustratos de cultivo), siendo esta última alternativa la que se considera más satisfactoria, ya que: 1) Contribuye a disminuir el impacto ambiental que ocasionan muchos de estos materiales, y, 2) Permite el reciclado y la recuperación de la materia orgánica y los elementos fertilizantes contenidos en los mencionados residuos (Pudelski, 1987).
De este modo, durante estos últimos años se están poniendo en práctica, en diferentes partes del mundo, sistemas de cultivo de hortalizas sin suelo, como el tomate, que utilizan diversos materiales orgánicos residuales, frescos o composteados, en forma pura o en mezcla, tales como: Pajas de cereales, estiércoles, compost de champiñón ya utilizado, cortezas de árboles (pino, p. ej.), desechos del corcho, fibra de madera, serrín, virutas de la madera, etc. (Nuez *et al,* 1995).

Recientemente se ha introducido la fibra de coco en el mercado de los sustratos. Este material se obtiene después que la cáscara del coco ha sido procesada para obtener fibras, que se destinan a la fabricación de cuerdas, esteras, etc. la fibra de coco presenta excelentes características físicas. Su elevada relación C/N y sus bajos contenidos en Ca y Mg asimilables exigen un manejo particular de la fertilización (Nuez *et al,* 1995).

Residuos industriales de naturaleza inorgánica o mineral que están introduciéndose como materiales para el cultivo sin suelo, son las escorias cristalizadas de altos hornos (Arrieta y Terés, 1993) y los estériles del carbón (García *et al*., 1993; González *et al*., 1993). Estos últimos se generan como consecuencia de la explotación de los pozos y minas de hulla y antracita.

Por último, cabe señalar que el rápido crecimiento de la industria de los plásticos ha favorecido el uso como sustratos de materiales orgánicos sintéticos, como el poliuretano expandido reciclado (Benoit y Ceustermans, 1990 y 1993). Se obtiene a partir de los residuos de la industria de la espuma de poliuretano y presenta una larga duración en condiciones de cultivo en campo, hasta unos 10 años.

2.2. Polvo de Fibra de Coco

Los principales países productores de polvo de coco son Sri Lanka, India, Filipinas, Indonesia, México, Costa Rica y Guyana (Konduru *et al*., 1999).

Entre los residuos sólidos orgánicos más abundantes en México se encuentra la fibra de coco, de la cual se separa un residuo que tiene características físicas apropiadas para preparar sustratos alternativos por su elevada estabilidad y su alta capacidad de retención de agua y baja densidad aparente, además de ser una fuente de potasio para los cultivos (Soto, 2003). El polvo de la fibra de coco se considera un material alternativo a la turba, tanto por razones ambientales como por presentar buenas características físicas: elevada capacidad de aireación a costa de una menor

retención de agua (fácilmente y total disponible del total de agua retenida) (Evans *et al*., 1996; Noguera *et al*., 2000;) y químicas (elevada capacidad de intercambio catiónico) relacionadas directamente con la granulometría del material (Konduru *et al*., 1999; Noguera *et al*., 2003). Su principal problema es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen de ésta (Evans *et al*., 1996; Abad *et al*., 2002).

A pesar de que México es uno de los principales productores de polvo de coco, la bibliografía relacionada con su caracterización física, química y biológica (Noguera *et al*., 2000; García *et al*., 2001; Abad *et al*., 2002) es escasa y sólo uno de los artículos es de autores mexicanos. En la mayoría de los trabajos hechos en México sobre sustratos se le ha dado mayor importancia a los aspectos agronómicos, lo que ha llevado a los usuarios a un manejo empírico de estos materiales (Vargas *et al*., 2008).

Algunos estudios indican que el polvo de bonote de coco (PBC) puede ser adecuado para sustituir a la tierra de monte (Ayala, 1999) y a la turba (Petit, 2000). El PBC es el tejido medular que queda después de extraer las fibras (bonote) del mesocarpo del fruto del cocotero (*Cocus nucifera* L.). En 2005, México produjo 210 mil toneladas de copra (SAGARPA, 2006), lo que significa que potencialmente se pueden producir 157 mil toneladas de PBC anualmente, con lo que se podría abastecer en buena medida la demanda de materiales orgánicos para elaborar sustratos para la horticultura ornamental nacional (Flores *et al.,* 2008). Las características de aireación, drenaje y capacidad de retención de agua del PBC son semejantes a las de la turba (Fonteno, 1996).

El uso de PFC como componente de sustratos, es prometedor y con múltiples ventajas (Flores *et al.,* 2008). Este desecho no tiene ninguna aplicación y se tira a terrenos baldíos, ríos y arroyos, o bien, es quemado, conllevando lógicos problemas de contaminación (Flores *et al.,* 2008). Así que su uso como componente de

sustratos resulta una alternativa promisoria para disminuir los riesgos de contaminación (Bernabé *et al.,* 1993).

Las muestras de polvo de coco mexicanas cumplen con las características necesarias para ser consideradas como sustratos (Vargas *et al.,* 2008). Además de ser una buena fuente de K y P (Flores *et al.,* 2008).

En algunas investigaciones se ha comprobado que el polvo de coco tiene características físicas, químicas y biológicas adecuadas para ser usado como medio de cultivo (Handreck, 1993; Meerow,1994). Además, el uso del PFC puede resultar interesante, para disminuir los costos de producción de plantas en vivero, el impacto ecológico por su extracción y beneficiar el crecimiento de las plantas inoculadas con HMA, ya que en los trabajos realizados por González *et al.* (2000), determinaron que el PFC es aparentemente el componente que confiere al sustrato las características químicas y físicas adecuadas, y la inoculación micorrízica la característica biológica importante para el desarrollo de las plantas.

2.3. Compostaje

Actualmente el manejo de desechos orgánicos a través de composts ha tenido fuerte impulso, sobretodo porque el producto de estos procesos se cataloga como fuente rica en nutrimentos y su aplicación a plantas puede contribuir significativamente en la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal (Alarcón y Ferrera, 2000).

A grandes rasgos, el compostaje consiste en la conversión biológica de diversos residuos de origen orgánico con base en el control de temperatura y agua, principalmente (Alarcón y Ferrera, 2000). Donde el material que resulta de este proceso permite ser utilizado como biofertilizante, ya que además de proporcionar nutrimentos para las plantas, contiene alto contenido de humus (Santamaría, 1996; Montero, 1999).

Por su parte Paul y Clark (1996), definen el compostaje como un proceso en el cual se da una descomposición biológica controlada y una conversión del material orgánico sólido a sustancias húmicas estables en condiciones aeróbicas; su objetivo principal es el de reducir el volumen de deshechos residuales carbonáceos y la obtención de un producto útil (Rodríguez, 2004). Tal definición, involucra un proceso aerobio, de bioxidación de los residuos orgánicos mediante microorganismos, las diferentes fases por las que pasa el material (mesófila, termófila, enfriamiento y maduración), el control de humedad y el pH a través de las mezclas de diversos materiales orgánicos (Ferrera-Cerrato y Santamaría 1996). Al producto final se le denomina compost, el cual se caracteriza como una sustancia de aspecto terroso, de consistencia blanda y de color obscuro, con buenas propiedades físicas y excelentes atributos como enmienda orgánica para el suelo (Etchevers, 1999).

2.3.1 Aspectos microbiológicos en el compostaje

Los materiales compostados suelen ser muy heterogéneos, por lo que identificar los rasgos microbiológicos se vuelve complicado (Rodríguez, 2004). Esta heterogeneidad ocasiona que las comunidades microbianas y su estructura en estudio sean sitio-específicas (Miller, 1993). Se tiene información generalizada de los grandes grupos microbianos como hongos, bacterias y actinomicetos que participan en el proceso (Rodríguez, 2004). Se han observado tipos de microorganismos similares en diferentes composts, los cuales se relacionan con el tiempo y la temperatura que se tienen durante el proceso, más que con la microbiota participante (Paul y Clark 1996).

2.3.2 Aspectos nutrimentales en el compostaje

En las evaluaciones de la madurez de composts se tiende con frecuencia a fraccionar el material orgánico con la intención de separar los diferentes compuestos húmicos (ácidos húmicos, fulvicos y huminas) (Rodríguez, 2004). Sin embargo, en la transformación de la materia orgánica que se da en unos cuantos meses no es

posible hablar de humus. Al respecto, Jenkinson y Rayner (1997), reportaron que existen diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo con mayor o menor dificultad en su mineralización. Estos mismos parámetros son útiles en los procesos de compostaje, en los cuales la velocidad de transformaciones es muy rápida, pero ello no significa que la materia se encuentre totalmente estable, es decir que ya no sufra cambios (Hoitink y Kuter, 1986).

Algunos componentes de la materia orgánica se mineralizan más rápidamente que otros, de esta manera se tienen tres fracciones:

a) Fracción muy lábil: materia orgánica de fácil biotransformación (azúcares simples, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas; también conocidas como compuestos de carbono soluble.
b) Fracción lábil: (celulosas y hemicelulosas).
c) Fracción resistente: (ligninas, aceites, ceras y resinas, principalmente) (Rodríguez *et al.*, 1993).

En el proceso de biotransformación, los microorganismos utilizan la materia orgánica para obtener energía útil en las síntesis de nuevas células y para su desarrollo (Rodríguez, 2004). De esta manera, el contenido nutrimental de los residuos sufren un proceso de mineralización, lo cual favorece que los elementos orgánicos pasen a una forma disponible para las plantas (Henis, 1986).

Los residuos orgánicos, suelen ser ricos en proteínas y formas nitrogenadas de bajo peso molecular, como urea y ácido úrico (Zubillaga *et al.,* 2008) en donde las proteínas contienen cerca del 16% de nitrógeno y pequeñas cantidades de otros elementos esenciales, tales como azufre, manganeso, cobre y fierro (Nyle and Weil, 2002). Con el objeto de que los nutrimentos se liberen de tales componentes celulares, es necesario que participen los microorganismos que descomponen a cada uno de ellos (Palm y Rowland, 1997). El nitrógeno es esencial en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Rodríguez, 2004). La mayor parte se

encuentra en el contenido celular de los residuos, donde están las proteínas y azúcares protoplásmicos (Rodríguez, 2004). El nitrógeno también se encuentra en la pared celular, aunque su concentración en ella es menor (Rodríguez *et al.*, 1993).

Rodríguez, (2004) comenta que entre los principales procesos de transformación del nitrógeno que se desarrollan durante el compostaje se encuentran: amonificación, inmovilización, nitrificación y denitrificación, en los cuales los microorganismos juegan un papel muy importante. Se ha demostrado que en los residuos, la mayor parte del nitrógeno es orgánico; sin embargo, el desarrollo del compostaje permite incrementar las formas inorgánicas disponibles para las plantas. De esta manera, el $N\text{-}NH_4$ se encuentra en mayor proporción en el compost inmaduro y disminuye conforme el proceso se desarrolla. Lo contrario ocurre con el $N\text{-}NO_3$, que se incrementa a medida que el compost llega a su madurez. Por otra parte, García *et al*. (1991) encontraron en una mezcla de lodos y residuos de uvas, que la concentración de $N\text{-}NH_4$ disminuyó de 0.18 % al inicio a 0.02% después de 210 días de proceso. A la inversa, el $N\text{-}NO_3$ no se presentó inicialmente y al final se alcanzó una concentración de 0.10 %.

Durante la descomposición de los materiales orgánicos pueden existir pérdidas de nitrógeno por lixiviación de $N\text{-}NO_3^-$ o bien por volatilización de NH_3, N_2, N_2O, y NO, lo que en ocasiones provoca pérdidas de 20 a 60 % de ese elemento (Schenk *et al*., 1997). En sentido opuesto, un proceso que aumenta la concentración de $N\text{-}NH_4$ podría ser la fijación de N_2 por algunos microorganismos presentes en los sustratos, con lo cual podría incrementarse la cantidad de N en la composta (Rodríguez, 2004). Con la que respecta al fósforo y potasio, éstos no se volatilizan durante el proceso de compostaje como en el caso del N (Barois *et al*., 1987).

Así pues, las características del compostaje dependen del material original ya que se han encontrado diferencias físicas, químicas y biológicas (Alarcón y Ferrera, 2000).

2.3.3 Aspectos importantes para determinar el uso de composta

Para emplear un compost se debe tener en cuenta su origen y características Zucconi y Bertoldi (1987) establecen los siguientes requerimientos químicos y biológicos:

a) Contenido nutrimental
   - No menos de 0.6 % de nitrógeno en peso de materia seca.
   - Cantidad de fósforo de 0.5 – 0.9 % (P_2O_5) en peso de materia seca.
   - Entre 0.2 y 0.8 % de potasio (K_2O) en peso de materia seca seco.
   - Micronutrimentos; los quelatos de Fe, Cu y Zn son benéficos para la planta.
b) La relación C/N debe ser <22:1.
c) Conductividad eléctrica (extracto de saturación) rango óptimo 2 - 3.5, muy alto más de 5 dS cm^{-1}.
d) El pH debe fluctuar entre 6.5 y 8.0.

Mediante el uso de este tipo de sustratos es posible mantener niveles óptimos de disponibilidad nutrimental para las plantas que sean producidas en invernaderos (Aguas *et al*., 1995; Quiñones *et al.,* 1998; Rodríguez *et al.,* 1998), aunque Atiyeh *et al.* (2000a; 2000b), señalan que usar más de 20% de composta en el sustrato puede provocar un decremento en el rendimiento de la planta.

2.4. Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz se ha utilizado, principalmente, para aumentar el espacio poroso en los sustratos, sin embargo, no se ha considerado su contribución al aporte de carbono total de los sustratos una vez que se someten a un proceso de compostaje en mezcla con materiales ricos en nitrógeno como estiércol o purín (García *et al*., 2001). Con esta última consideración, Genevini (1997), propuso la obtención de dos productos comerciales durante el compostaje de la cascarilla de

arroz con purín. Esto para ser utilizados como sustituto de sustratos orgánicos en invernaderos.

La cascarilla de arroz es un material ligero, tiene porosidad elevada, así como aireación y capacidad de retención de agua. Es un material rico en potasio y fósforo y pobre en nitrógeno (López *et al*., 2008).

2.5. El Jitomate

El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta área crecen espontáneamente las diversas especies del género (Nuez *et al.,* 1995).

Todavía son muchos los aspectos poco claros con respecto al origen y la domesticación del tomate cultivado. Sin embargo hay algunos puntos con un grado razonable de certeza:

a) El tomate cultivado tuvo su origen en el Nuevo Mundo. No era conocido en Europa ni en el resto del Viejo Mundo antes del descubrimiento de América.

b) El tomate había alcanzado una fase avanzada de domesticación antes de su llegada a Europa y Asia. Había ya una variedad de tipos caracterizados por la forma, acostillado, tamaño y color de los frutos.

c) El antepasado más probable del tomate cultivado es el tomate pequeño silvestre (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). Crece espontáneamente en las regiones tropicales y subtropicales de América y se ha extendido a lo largo de los trópicos del Viejo Mundo (Rick, 1976, 1978).

El jitomate (*Solanum licopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia en el mundo y en las últimas décadas el incremento en popularidad de las comidas rápidas ha hecho necesaria su industrialización y transformación en subproductos utilizados por restaurantes, los cuales aparentemente consumen el 50% de la producción (De Giglio, 2003).

Este cultivo ha sido de mucho importancia económica para México, ya que a pesar de que USA produce junto con China el 15% de la producción mundial (Wijnands, 2003), dicho país sigue demandando el 90% de las exportaciones mexicanas (González y Martínez, 2002), particularmente en la temporada invernal, ya que la producción en invernadero no puede competir en precio con el jitomate mexicano (De Giglio, 2003).

2.6. Biofertilizantes

Vessey (2003), propuso que biofertilizante se define como una sustancia que contiene microorganismos vivos que, cuando se aplica a las semillas, a la superficie de plantas o al suelo, colonizan la rizósfera o el interior de la planta y promueve el crecimiento mediante el aumento del suministro o disponibilidad de los nutrientes primarios a la planta hospedera.

Entre los beneficios del uso de microorganismos en la agricultura están su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, la descomposición de residuos orgánicos, la desintoxicación con plaguicidas, la supresión de enfermedades en las plantas, el aporte de nutrientes al suelo y la producción de compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002).

2.6.1 Hongos micorrízicos arbusculares

De acuerdo a registros fósiles, esta coevolución tuvo origen desde hace 460 millones de años (Redecker *et al*., 2000) y hoy en día son un campo muy fértil de investigación básica y aplicada (Reyes, 2002).

A pesar que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) surgieron hace 350-460 millones de años atrás (Simon *et al*., 1993), en la actualidad poseen una extraordinaria importancia ecológica y económica, producto de los beneficios que reportan a la mayoría de las plantas terrestres, además de sustentar los programas basados en la conservación medioambiental (Rodríguez *et al*., 2004). Gracias al uso más eficiente que hacen las plantas micorrizadas de los nutrimentos del suelo, permiten ahorrar fertilizantes químicos y reducir por consiguiente los problemas de contaminación que el uso excesivo de fertilizantes conlleva (Rodríguez, 2004).

Las micorrizas arbusculares (MA) son asociaciones ecológicamente mutualistas que se establecen entre un selecto grupo de hongos (Glomeromycota) y la gran mayoría de las plantas. Aproximadamente un 80% de las familias de las familias de plantas existentes tienen la potencialidad de formar este tipo de asociación (Trappe, 1987).

Los hongos micorrízicos son importantes en las plantas porque penetran y colonizan las células radicales del hospedante, forman un sistema de transferencia bidireccional, llevan nutrimentos minerales del suelo a la planta y compuestos orgánicos de la planta al suelo (Velasco *et al.,* 2001). De este modo, la asociación posibilita, mediante mecanismos bioquímicos, mayor absorción de nutrimentos, principalmente fósforo (Bethlenfalvay, 1993; González, 1993). Durante el establecimiento de esta simbiosis se produce alteraciones citológicas y metabólicas en las células hospederas, medidas por señales que se intercambian entre la planta y el hongo (Salzer y Bollller, 2000), donde se establece una especie de trueque, en el cual ambos se benefician, la planta le proporciona al micobionte carbohidratos (glucosa, fructuosa, etc.) y este último la abastece de fósforo, nitrógeno, potasio,

calcio e incrementa la absorción de nutrimentos menores como magnesio, cobre y zinc (Reyes, 2002). La protege contra patógenos e incrementa la solubilidad de minerales del suelo. De esta manera la planta incrementa su crecimiento en respuesta al transporte de nutrimentos que vía el hongo obtiene del suelo (Reyes, 2002).

A pesar de existir en la naturaleza seis tipos definidos de asociaciones simbióticas que forman micorrizas con las plantas terrestres (Sylvia, 1999), solo dos de ellas representan alternativas de uso en los sistemas de producción de plantas (Alarcón y Ferrera, 2000). Una es la simbiosis micorrízica arbuscular y la otra es la simbiosis ectomicorrízica, ambas difieren de los cambios morfológicos radiculares que se generan por la asociación de hongos que forman micorriza. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son visibles únicamente al microscopio y no forman estructuras reproductivas del tipo sexual; además, su establecimiento no genera cambios en la morfología de la raíz de la planta hospedante (Alarcón, 2000). Estos hongos mediante la actividad del micelio externo, facilitan la asimilación de nutrimentos (P, N, Ca, Mn, Mg, Zn, etc.) que la planta puede aprovechar (Alarcón y Ferrera, 2000). Ante este efecto, la planta dirige una buena parte de sus fotosintatos hacia el sistema radical de modo que los hongos puedan captar compuestos de carbono para satisfacer sus requerimientos nutricionales y facilitar el mutualismo de la simbiosis entre ambos componente (Smith y Read, 1997).

La inoculación de estos endófitos en plantas, han contribuido en la obtención de plantas de excelente porte, bien nutridas, sanas e incluso mejor calidad en comparación con aquellas que fueron producidas con fertilizantes químicos (Alarcón, 1997; Ferrera-Cerrato y Alarcón, 1998; González-Chávez *et al*., 1998; Ferrera-Cerrato y Alarcón, 1999; Davies *et al*., 2000). Además, existen evidencias de que las MA protegen a las plantas del ataque de patógenos (Newsham *et al.,* 1995) y del déficit hídrico (Ruiz-Lozano y Azcón, 1995).

Estos bioproductos representan insumos de bajos costos y constituyen alternativas biológicas de gran importancia, ya que permiten disminuir al consumo de fertilizantes

minerales e incrementar los índices de ganancias y rentabilidad en los cultivos estudiados (Alarcón *et al*., 2001).

2.7. Lixiviados de Vermicompost

El proceso de vermicompostaje produce un lixiviado como agua que se libera durante la descomposición de la materia orgánica, siendo el drenado de esta agua o lixiviados importante para evitar la saturación de la unidad de vermicompostaje y la atracción de plagas. Los lixiviados derivados de vermicompostaje a menudo son llamados " té de gusano ", se consideran benéficos en el sentido de que cuando se recogen se pueden utilizar como un fertilizante líquido que contiene nutrientes para las plantas, aunque preferentemente diluido para evitar el daño a las mismas (Gutiérrez *et al*., 2008).

Dichos lixiviados deben ser usados con cuidado, debido a que en bioensayos con semillas de berro se demostró que pueden inhibir la germinación de semillas y el crecimiento de la planta (Frederickson, 2002). Lo cual fue corroborado por Jarecki *et al.* (2005) al experimentar con plántulas de jitomate regadas con lixiviados de vermicompost a diferentes diluciones presentando síntomas por deficiencias de N y P y un desarrollo restringido al ser regadas con altas dosis de los mismos. Por lo tanto si se usa como fertilizante, es mejor diluir los lixiviados para evitar daños a la planta (Gutiérrez *et al.,* 2008).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo General

Caracterizar física y físicoquímicamente sustratos con base en fibra de coco, biofertilizantes, subproductos y otros materiales naturales, así como evaluar su efecto sobre el rendimiento, desarrollo y vida de anaquel de plantas y frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro bajo condiciones de invernadero.

3.1.1. Objetivos Específicos

1) Estudiar y comparar la influencia de diferentes sustratos y un suelo franco arcilloso orgánicos en la *cinética de desarrollo* de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro.
2) Evaluar el rendimiento de plantas cultivadas en 4 diferentes sustratos orgánicos y en un suelo franco arcilloso.
3) Evaluar la vida de anaquel, de los frutos producidos en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro cultivadas en 4 diferentes sustratos orgánicos y un suelo franco arcilloso.
4) Caracterizar Física y Químicamente los sustratos orgánicos y el suelo utilizados.

3.1.2. Hipótesis

1) Este tipo de sustratos orgánicos influirán de manera significativa en un mayor desarrollo de las plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro en comparación con el suelo agrícola franco arcilloso.
2) Al menos 1 de los 4 sustratos orgánicos empleados promoverá un mayor rendimiento de fruto que el suelo agrícola franco arcilloso.
3) No habrá diferencias en vida de anaquel de los frutos cultivados en los diferentes sustratos orgánicos en comparación con los cultivados en un suelo franco arcilloso.
4) Los sustratos orgánicos utilizados presentarán características físicas, químicas, y nutrimentales más apropiadas que el suelo franco arcilloso para el cultivo autosuficiente de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro en condiciones de invernadero.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en las instalaciones del campo experimental del CIIDIR Michoacán en Jiquilpan, Michoacán, México, en un invernadero cubierto lateralmente por malla mosquitero blanca y en el techo por una malla mosquitero de media sombra obscura y una película de plástico. Durante el ciclo de cultivo con duración de 140 días, las temperaturas medias mínimas y máximas registradas dentro dicho invernadero, oscilaron entre 17±1.5 y 37±2.9 ^{0}C respectivamente.

De manera muy general e ilustrativa, en la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso general llevado a cabo en este trabajo de investigación, cada etapa de dicho proceso se explicará en su apartado correspondiente.

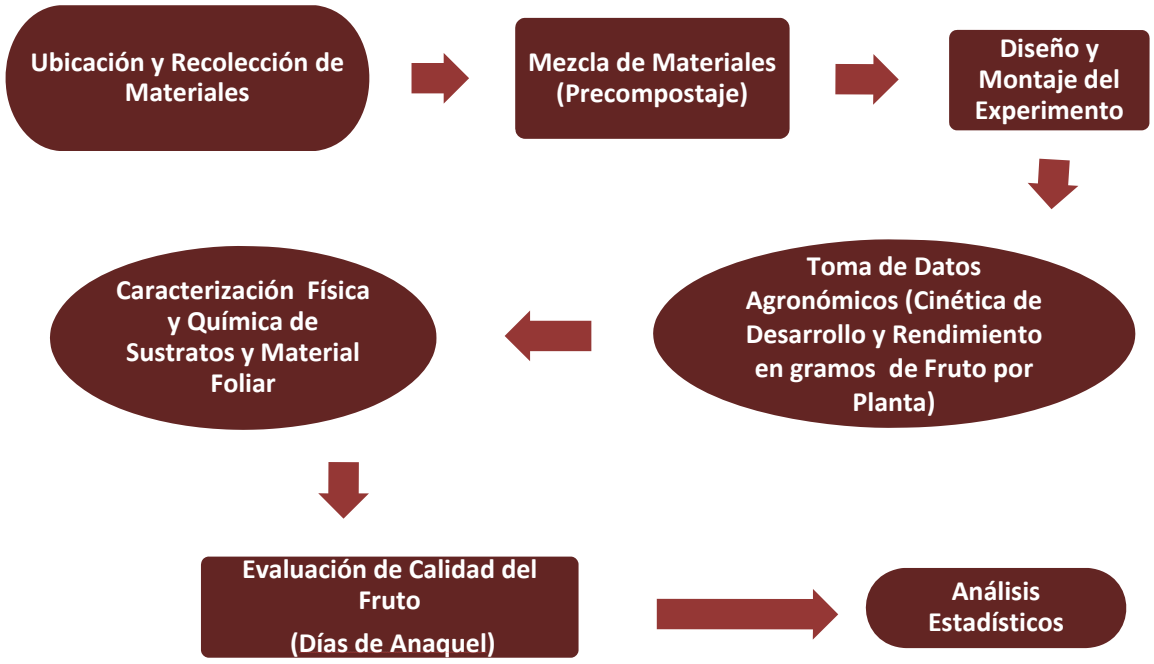

Figura 1.- Diagrama de flujo del trabajo realizado en esta investigación.

4.1. Ubicación y Recolección de Materiales

4.1.1. Materias primas para la elaboración del sustrato base (S2)

Para la elaboración del S2, se emplearon los siguientes materiales, los cuales se mencionan en orden a la proporción en la que fueron usados:

Tabla 1.- Materiales y sus diferentes proporciones que constituyen el S2.

Componente	***Proporción %***
Polvo de Fibra de Coco (PFC)	50.0
Compost de Estiércol de Bovino (CEB)	15.8
Cascarilla de Arroz (CA)	10.0
Harina de Pescado (HP)	10.0
Compost de Cachaza de Caña de Azúcar (CCCA)	10.0
Dolomita (DO)	1.0
Roca Fosfórica (RF)	3.0
Levadura de Cerveza (LV)	0.2

Para el caso del PFC, por cuestiones de precio y calidad este se adquirió de la empresa Artifibras de Uruapan Michoacán en pacas prensadas de 30 kg las cuales rinden cerca de 300 litros ya descompactadas.

En relación al CEB este fue donado por el Dr. José Venegas González del laboratorio de suelos del CIIDIR IPN Mich, y consistió en un compost maduro con 6 meses de compostaje.

La CA en el molino de arroz de la ciudad de Gabriel Zamora, Michoacán.

El CCCA, se obtuvo a partir de la cachaza de la caña de azúcar, que al igual que la CA, también es considerada como un desecho en los ingenios de Santa Clara en Tocumbo Mich. y de Tamazula Jal., lugares donde fue recolectado este material

para después ser composteado, y que de la misma manera que el CEB, nos fue facilitado en tiempo y forma, por el mismo laboratorio como compost maduro, con cerca de 8 meses de compostaje.

Respecto a la HP, se adquirió con productores de la Laguna de Cuitzeo Mich., en donde el pez entero (básicamente tilapia) se seca y se muele, y aunque no es considerado como un desecho, al menos en esta laguna, este material es colectado, deshidratado, molido y comercializado cuando se seca la laguna.

La DO, la roca fosfórica (RF) y la levadura de cerveza (LV) se adquirieron de casas forrajeras de la localidad de Jiquilpan Michoacán.

Es preciso mencionar que los materiales que tuvieron que ser comprados como es el caso del PFC, HP, DO, RF y LV, fueron adquiridos en pequeñas cantidades, por lo que su precio fue más alto que el que puede lograrse si la compra fuese en mayor volumen y directamente con el productor, como es el caso de la HP que se vende en los negocios regionales (forrajeras, etc.) hasta en $25.00 por Kg y que requerida directamente con el productor en una compra mínima de 1.5 toneladas puede llegar a ofertarse hasta en $6.00 por Kg.

4.1.2. Material vegetal y material biológico

Es preciso mencionar que el objeto de estudio es el sustrato y que el Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro es únicamente el elemento de validación o cultivo indicador de las características del sustrato, siendo este *cv.* Toro de crecimiento determinado tipo saladette.

Plántulas de jitomate *Solanum lycopersicum* L. *cv*. Toro de 38 días después de la siembra fueron obsequiadas por la empresa MOJARRO´S SERRES ubicada en Yurécuaro Michoacán, debido al prestigio y calidad de sus productos, procesos y a

la excelente disposición del gerente general de dicha empresa M. C. Benjamín Mojarro Víctor por apoyar el desarrollo de la investigación.

La variedad de jitomate usada como cultivo indicador, fue la de mayor demanda para la producción orgánica y de mayor popularidad para consumo en esta región (tabla 2).

Tabla 2.- Características generales del Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro, proporcionadas por la empresa MOJARRO´S SERRES y Harris Moran Seed Company.

Tolerancia al Calor	De 38 hasta 40^{o}C
Necesidades de Fertilización	Baja
Tipo de Planta	Determinada
Características del Fruto	Saladette (Guaje)
Resistencia a Enfermedades	*Fusarium sp*. , *Fusarium oxysporum*, *lycopersici* que produce marchitamiento; a *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* que producen el "nudo de la raíz"; y a Verticilosis *Verticillium dahliae*.

El inóculo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) *Claroideoglomus claroideum* ((N. C. Schenck & G. S. Sm. 1982) Schüβler y Walker, 2010) fue proporcionado de la manera más amable por el excelente investigador Dr. Víctor Olalde Portugal, de la colección del laboratorio de bioquímica ecológica del CINVESTAV unidad Irapuato.

4.1.3. Materiales complementarios

Otros materiales complementarios adicionados al S2 para ser usados como distintos tratamientos se enlistan a continuación:

1. Lixiviados de Vermicompost (LV)
2. Lixiviados de Vermicompost con Leonardita (LVL)
3. Fertilizante Sintético 150-60-200 de N-P-K kg ha^{-1} (FS)
4. Suelo Agrícola de Textura Arcillosa (SA)

Los lixiviados (LV y LVL) del proceso de vermicompostaje fueron obsequiados por la empresa Vermicomposts de Tinguindín, ubicada en Tinguindín Michoacán. Es preciso mencionar que según datos que nos proporcionó la empresa, estos están compuestos del 75% de lixiviados del proceso de vermicompostaje y del 25% de Leonardita.

Así mismo, el SA se extrajo de tierras de cultivo de la Ciénaga de Jiquilpan, mismas que se llegan a utilizar para el cultivo de jitomate, siendo este un suelo franco arcilloso. Los recipientes (macetas) de plástico con capacidad de 12 L en los que se colocó el sustrato se adquirieron en negocios de esta población.

4.2. Mezcla de Materiales

Es importante mencionar que el PFC se somete a un proceso de lavado, debido a que presenta altos contenidos de potasio, cloro y sodio (Noguera *et al*., 2000); la salinidad y heterogeneidad, pueden ser atribuidos al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen mismo de ésta (Evans *et al*., 1996; Abad *et al*., 2002), aunque cabe mencionar que el polvo de coco mexicano no es el único que tiene sales (Vargas *et al*., 2008). Para corregir esta situación, al PFC se aplicó parte

del proceso de lavado y pasteurizado utilizado por diversos autores (Hartmann *et al*., 1990; Ansorena, 1994; Flores et al., 2008) donde para lavar el PFC se desmenuzó y colocó en un recipiente, se le agregó agua de la red municipal (***CE***=0.551 $dS*m^{-1}$), litro por litro, y se dejó remojar por tres horas, posteriormente se drenó hasta quedar casi seco, sin embargo, para conservar la biodiversidad microbiana presente en dicho sustrato (hongos, bacterias y actinomicetos) que participan directamente en la biodegradación de la materia orgánica que lo constituye (Paul y Clark, 1996) y por ende en la mineralización y liberación de la mayoría de macros y micronutrimentos indispensables en la nutrición de la planta (Nyle and Weil, 2002), a diferencia del procedimiento antes mencionado, no se pasteurizó el PFC, no obstante con el lavado del material se logró disminuir la CE a 1.702 $dS*m^{-1}$ niveles similares a los obtenidos por Ansorena, (1994). Es importante mencionar que los valores óptimos en sustratos propios para el cultivo de hortalizas la CE fluctúa entre 0.75 y 2.6 $dS\ m^{-1}$, lo que indica que este sustrato se encontró en niveles medios en el rango de valores aceptables (Nuez *et al*, 1995). A diferencia del tratamiento aplicado al PFC, el resto de los componentes del sustrato se utilizaron sin aplicación de ningún tipo de tratamiento previo antes de someterse al proceso de precompostaje.

La duración del proceso de precompostaje fue de 20 días en el cual, a excepción de la HP, el resto de los materiales fueron mezclados en seco hasta alcanzar la homogeneidad en el volumen total de la mezcla, posteriormente, se procedió a humedecer de manera homogénea (Chefetz *et al*., 1996; Gasser, 1984) con agua de la red municipal hasta alcanzar cerca del 75% de humedad; Dicha humedad osciló durante todo el proceso en un rango entre 50 y 70% (Martínez, 1995; Gasser, 1984).
En relación a las tres etapas del proceso de compostaje, cabe señalar que el S2 pasó la primera etapa mesofílica y únicamente se llevó a término de la etapa termofílica; esta última etapa fue acelerada al aplicar la levadura de cerveza (como activador) ya que normalmente la primera etapa mesofílica (< 40 ^{o}C) y la termofílica (≥50^{o}C y 75^{o}C ≤) llegan a término entre los 12 y 15 días y entre 16 y 33 días respectivamente posteriores al apilamiento y humedecimiento del material en compostaje (Chefetz *et al*. 1996), sin embargo en este caso en particular se activó el

proceso de compostaje al llevar la primera etapa mesofílica únicamente por 1 día y la etapa termofílica solamente los siguientes 17 días después de la primera etapa mesofílica, para esto se aireó y humedeció la mezcla durante los 19 días restantes para contrarrestar la elevación de temperatura propiciada por la LV. Es preciso resaltar, que este fue un proceso realmente diferente de los procesos comunes de compostaje donde la mezcla se airea una vez por semana durante los primeros 49 días y una vez cada dos semanas por el resto del tiempo de compostaje mismo que depende del tipo de material ya que el compostaje puede variar entre 4 y 8 meses (Gasser, 1984; Chefetz *et al*., 1996; Nyle y Weil, 2002).

Para evitar pérdidas de nitrógeno, y una vez pasada la etapa termofílica, a los 18 días de compostaje se incorporó de manera homogénea a la mezcla la HP como la principal fuente de nitrógeno, entre otros minerales, esto con la finalidad de evitar la liberación de importantes cantidades de amoniaco por hidrólisis enzimática cuando se compostean (Zubillaga *et al*., 2004; Zubillaga *et al*., 2005), durante la descomposición de los materiales orgánicos pueden existir pérdidas de nitrógeno por lixiviación de $N\text{-}NO_3^-$ o bien por volatilización de NH_3, N_2, N_2O y NO, lo que en ocasiones provoca pérdidas de 20 a 60% de ese elemento (Schenk *et al*., 1997), de esta manera se previene en mayor cantidad dicha pérdida de N, ya que la descomposición de las proteínas simples liberan este nitrógeno fácilmente, mientras que las proteínas crudas complejas son más resistentes a la descomposición (Chefetz *et al*. 1996), permitiendo así la lenta liberación de N en el sustrato y por tanto su disposición para la absorción de este nutrimento por la planta de manera paulatina durante su ciclo de cultivo.

Se usó el S2 después de haber pasado la etapa termofílica, ya que según Zucconi *et al*. (1981) y Zubillaga *et al.* (2008) el rango de 80-85% de porcentaje de germinación (%G) indica la desaparición de fitotoxicidad del compost y se logra únicamente con los materiales composteados que pasan la etapa termófila. Otro parámetro que ayuda a determinar la existencia de toxicidad en los compost es la inhibición de la

elongación de raíces (%LR) (Tam y Tiquia, 1994; Ratsch, 1983), donde los mayores %LR se logran con materiales que pasan la etapa termófila (Zubillaga *et al.,* 2008).

Después de haber pasado todo este proceso, el S2 estuvo listo para el montaje del experimento.

4.3. Diseño y Montaje del Experimento

Para el montaje del experimento se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, en el cual se generaron 5 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, usando como testigo suelo agrícola franco arcilloso propio de esta región de cultivo, dichos tratamientos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.- Tratamientos utilizado en el trabajo.

Tratamiento	**Composición**
T1 (testigo)	S2
T2	S2 + LV
T3	S2 +LVL
T4	S2 + HM
T5 (testigo)	SA + FS

El trasplante se hizo 40 días después de la siembra cuando las plántulas presentaron la quinta hoja verdadera (López *et al*., 2008), donde se trasplantó una planta por maceta con capacidad de 12 L llenas de S2 sobre la base del volumen.

La densidad de siembra fue de 4 plantas/m^2, ya que en relación con la producción orgánica, dicha densidad es la más recomendable (Márquez *et al.,* 2008; Rodríguez *et al*., 2008; Cruz *et al*., 2003).

El riego se hizo de acuerdo al volumen de agua requerido por la planta en relación a su etapa fenológica y a la capacidad de retención de agua (CRA) del sustrato, el cual varió desde 0.5 hasta 1.8 L/planta en una sola aplicación con un recipiente graduado para el respectivo control y homogeneidad de riego en todos los tratamientos. Para evitar la pérdida de nutrimentos por lixiviación, debajo de la maceta se colocó un recipiente para captar y reincorporar la solución lixiviada a la planta correspondiente, el agua utilizada fue la suministrada por la red municipal.

Para el caso del testigo T1 las plantas fueron regadas únicamente con agua durante todo el ciclo de cultivo.

En relación a la etapa fenológica de las plantas del T2 estas fueron regadas durante todo el experimento de tal manera que en cada riego se incorporaron 50 ml (etapa vegetativa) y 100 ml (etapa reproductiva) de LV diluidos en el agua a volumen total del riego requerido por la planta en relación con la CRA del sustrato.

Las plantas del T3 fueron regadas de manera semejante al T2, durante todo el experimento de tal manera que en cada riego se incorporaron 50 ml (etapa vegetativa) y 100 ml (etapa reproductiva) de LVL diluidos en el agua a volumen total del riego requerido por la planta en relación con la CRA del sustrato.

Las plantas del T4 fueron inoculadas con HMA *Claroideoglomus claroideum*; dicha inoculación se llevó a cabo al momento del trasplante directamente en la raíz de las plantas aplicando 20 g/planta de suelo que contenía aproximadamente 8 esporas/g de suelo. El riego para las plantas del T4 fue de igual manera que para el T1.
Es preciso mencionar que no se encontraron trabajos relacionados con la inoculación de esta especie de HMA en este tipo de cultivo.

En el T5, usado como testigo, se empleó como sustrato el SA, mismo que previo al trasplante fue tamizado para hacerlo homogéneo con el tamaño del FS (en perdigones) que se aplicó por única vez 150-60-200 de N-P-K kg/ha en este

momento del trasplante. En el caso del testigo T5 este también se regó únicamente con agua en el volumen de riego igual que el resto de los tratamientos.

Las variables evaluadas fueron de dos tipos: datos agronómicos; cinética de crecimiento, que se consideró como la altura en cm de la planta desde la base del tallo hasta parte más alta de la misma, y rendimiento evaluado como producción en gramos del total de frutos por planta, en cuanto a calidad del fruto se determinó únicamente vida de anaquel considerada como la pérdida de peso durante 21 días.

4.4 Toma de Datos Agronómicos

Las plantas de todos los tratamientos fueron tutoreadas con hilo rafia cuando alcanzaron los 50 cm de altura y fueron manejadas a 2 tallos productivos con 3 racimos por tallo (Martínez *et al.,* 2005).

Las variables evaluadas fueron:

1) Datos agronómicos:
   a) Cinética de crecimiento, que se consideró como la altura en cm de la planta desde la base del tallo hasta parte más alta de la misma utilizando como herramienta un flexómetro marca STANLEY, dichas mediciones se tomaron a los 25, 29, 35, 44, 51, 56, 64 y 70 días después del trasplante (ddt).
   b) Rendimiento, evaluado como producción en gramos del total de frutos por planta. La cosecha se realizó cuando el fruto alcanzó su madurez comercial en un estado rayado, llevando a cabo cuatro cortes, con espaciamientos de 7 a 10 días entre cada corte.
2) Calidad del fruto:

a) vida de anaquel considerada como la pérdida de peso durante 21 días. Se estableció el montaje de esta prueba en un arreglo completamente aleatorizado en el cual se utilizaron 4 jitomates de cada tratamiento, en 4 en charolas de plástico, cubiertas con malla mosquitero de 85% de claridad bajo

sombra habiéndose registrado temperatura promedio mínimas y máximas de 17 y 26 ^{o}C respectivamente.

4.5. Caracterización Física y Química de Sustratos y Material Foliar

Al momento del montaje del experimento, se tomó una muestra del S2 y se realizaron ciertas caracterizaciones físicas y químicas, mismas que se realizaron también a los sustratos de los diferentes tratamientos después de la cosecha.

La caracterización **física de los sustratos** incluyó: Densidad aparente (DA) por la Norma UNE-EN 13040:1999; Densidad real (DR) y Capacidad de retención de agua (CRA), mediante el método descrito por Ansorena (1994).

Para la caracterización **química de los sustratos** se consideró: Materia orgánica (MO), por calcinación a 550 °C (Ansorena, 1994); pH y conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación (Warncke, 1986), donde el pH y la CE se determinó en el extracto; N por Kjeldahl (Helrich, 1990); la determinación de K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu y Zn se hizo en previa digestión de acido nítrico y acido perclórico y se cuantificó en absorción atómica; mientras el P se utilizó la técnica del *vanadomolíbdico* (Helrich, 1990); Capacidad de intercambio catiónico (CIC), con $BaCl_2$ según el método descrito por Ansorena (1994).

Así mismo para la caracterización **física del suelo**: la determinación DR y DA (Blake y Hartage, 1986); para la CRA (Alef y Nannipieri, 1995); en la textura del suelo se empleó el método del Hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Bouder, 1986; Grande, 1982) donde se determinaron arenas, limos y arcillas.

Para la caracterización **química del suelo**: se determinó la MO por (Allison *et al.* 1965); N por Kjeldahl (Helrich, 1990); la determinación del P se realizó por el método (Olsen *et* al. 1964; John, 1970) sometiendo a una extracción con DTPA el suelo para Fe, Mn, Cu y Zn, y para K, Ca, Mg, Na se hizo una extracción con acetato de amonio

1 N, para cuantificar por absorción atómica (Lindsay y Norvell. 1978; Helrich, 1990); pH y conductividad eléctrica (CE), en extracto de saturación (Warncke, 1986); para la CIC por el método de acetato de amonio (Etchevers, 1992).

4.6. Análisis Estadísticos

El análisis estadístico de los resultados de las variables agronómicas y de calidad del fruto se hizo partiendo de la realización de pruebas de normalidad de Ryan-Joiner "similar a Shapiro Wilk" (Steel y Torrie, 1988; Murray, 1991) utilizando el Software estadístico MINITAB 15 en español. Para la cinética de desarrollo y rendimiento los datos se ajustaron a una distribución normal, la variable de vida de anaquel presentada en rangos de porcentajes su distribución requirió de la transformación de Bliss recomendada por Ostle, (1968) y Box y Hunter (1989), también conocida como transformación angular y que responde a la aplicación de la siguiente operación:

Transformación de Bliss: $\boldsymbol{Y' = \text{arc sen } \sqrt{p}\ /100}$
Donde *p* es el valor en porcentaje de la variable observada.

Una vez transformados los datos de la variable de vida de anaquel, se sometieron a la prueba de normalidad antes mencionada. Cabe señalar que la presentación de los datos en las tablas y en las gráficas se hizo con los datos originales y no con los transformados.

Una vez verificada la normalidad de los datos, éstos fueron sometidos a la prueba de homogeneidad de varianza o también conocida como prueba de homocedasticidad recomendado por Steel y Torrie, (1988); Murray, (1991), la cual se aplicó dentro de los intervalos de confianza de Bonferoni de 95% la prueba de Bartlett ($P \leq 5\%$), que se utiliza para comparar más de dos varianzas cuyos datos sean normales.

Al haber comprobado tanto la normalidad como la homocedasticidad de los datos, se procedió a realizar el análisis de diferencias de medias (Box y Hunter, 1989; Steel y Torrie, 1988; Murray, 1991) aplicando la prueba de Tukey ($P \leq 5\%$) en un ANOVA donde se usó el paquete Statistical Analysis System for Windows 9.0 de SAS Institute Inc.

V. RESULTADOS

5.1. Sustratos Orgánicos como medio de Cultivo para la Producción Orgánica de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro

En la Tabla 4 se puede apreciar ciertas diferencias en relación a las características físicas y físico químicas de los sustratos de cada tratamiento, e incluso que se pueden contrastar con el S2.

Tabla 4. Caracterización físico química del S2 y SA, y de los sustratos usados en el experimento post cosecha.

Tratamiento	pH	**CE**	**CIC**	CRA	DR	DA
		(µS/cm)	($cmol_c\ Kg^{-1}$)	%	g/cm^3	
S2	6.9	1702	65	198.5	2.96	0.459
T1	7.6	697	67.5	159.3	2.58	0.398
T2	7.6	694	67.5	161.2	2.52	0.392
T3	7.2	1217	67.5	173.4	2.95	0.411
T4	7.6	668	62.5	161.4	2.85	0.408
T5	8.2	1850	51	104.9	1.68	1.019
Suelo	8.4	600	46	103.9	1.58	1.025
Óptimo[y]	5.2-6.3	750-2600	>20	55-70	1.45-2.65	<0.4

DR: densidad real; DA: densidad aparente; CRA: capacidad de retención de agua; CE: conductividad eléctrica; CIC: capacidad de intercambio catiónico.
[y]Según Abad *et al*. (1992), citados por Ansorena (1994). CIC en 100 cm^3 según Fonteno (1996).

La caracterización de la textura del suelo agrícola empleado como testigo fue de 9.1 % de arena, 34% de limo y 56.9 % de arcilla, y que según el diagrama triangular de la textura del modificado por USDA en Landon, (1984) este suelo es clasificado como Vertisol pelico.

Otra característica que es de suma importancia señalar es que el S2 posee una relación C/N =20, y que los sustratos de los diferentes tratamientos post cosecha reportaron en promedio un la relación C/N=19±0.3.

Respecto al pH pudo verse como los tratamientos post cosecha incrementaron dicha medida hacia la alcalinidad en un promedio de 0.5 unidades con respecto al S2, y aún así se mantuvieron cerca de la neutralidad (7.0), mientras que la variación entre el SA y el T5 fue relativamente insignificante.

En relación a la CE se observó como T1, T2, y T4 postcosecha disminuyeron significativamente de 1702 µS/cm a 697, 694 y 668 µS/cm respectivamente. Mientras que el T3 solo disminuyó de 1702 µS/cm a 1217 µS/cm. Es importante resaltar el incremento en CE que tiene el T5 respecto del SA, que fue poco más del triple en relación al SA.

La CIC en T1, T2 y T3 presentó un ligero incremento medio de 2.5 $cmol_c$ Kg^{-1} respecto al S2, mientras el T4 por el contrario, mostró un decremento 2.5 $cmol_c$ Kg^{-1} respecto al S2, en este sentido, se apreció cómo el T5 tuvo un incremento de 5 $cmol_c$ Kg^{-1} respecto al SA.

Se observó también como los tratamientos T1, T2, T3 y T4 tendieron a disminuir su CRA en 19.77, 18.82, 12.65 y 18.71% respectivamente en relación al S2, siendo en este caso el T3 el que presentó relativamente menor incidencia en la disminución del % de CRA respecto al S2. En cambio, la diferencia entre el T5 y el SA fue prácticamente despreciable.

El contraste de la DR del S2 respecto a T1, T2, T3 y T4 no presentó alteración, lo mismo sucedió en el T5 respecto al SA donde las variaciones fueron relativamente despreciables.

Al igual que en la magnitud anterior, los diferentes tratamientos en relación a sus sustratos base (S2 y SA), no presentan diferencias considerables en DA.

Analizando los datos de la tabla 5, se aprecia cómo los diferentes tratamientos influyeron en la absorción de macronutrimentos, vistos como una fracción de remoción de los mismos a partir del medio de cultivo, dicha absorción se vio reflejada en las diferencias nutrimentales contenidas en el S2.

Tabla **5.** Análisis de los macronutrimentos de los diferentes sustratos usados en el experimento.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
			%		
S2	1.160	1.550	1.198	3.960	1.734
T1	0.970	1.385	1.010	2.514	1.445
T2	0.910	1.224	0.995	2.863	1.734
T3	0.925	1.310	0.810	3.255	1.734
T4	0.905	1.000	0.815	2.394	1.156
T5	0.078	0.010	0.082	0.49	0.29
Suelo	0.590	0.003	0.05	0.47	0.25

Para el caso del N, el T4 fue el que influyó mayormente en la absorción de este nutrimento, aunque en el T5 se tuvo una mayor absorción en comparación con el SA a diferencia del tratamiento anterior y el S2.

Por otro lado, pese a que los tratamientos T1, T2 y T3 absorbieron cantidades importantes de P, el T4 fue el que influyó en una mayor absorción de este nutrimento.

De igual manera, las plantas del T3 y T4 fueron las que mayor absorción de K tuvieron en relación con el resto de los tratamientos.

En cuanto a la absorción del Ca, esta estuvo influenciada mayoritariamente por T1, T2 y T4, siendo este último el que presentó la mayor absorción de Ca en relación al resto de los tratamientos.

Finalmente, en T2 y T3 la absorción de Mg que registraron fue casi insignificante, sin embargo el T1 y T4 fueron los que influenciaron para una mayor absorción de este nutrimento, el T4 permitió la mayor absorción de todos.

La absorción de los micronutrimentos presentada en la tabla 6, muestra como los diferentes tratamientos influyeron en una mayor o menor toma de estos; de forma muy general, pudo verse como el T4 fue el tratamiento que influyó en una mayor absorción de estos 4 micronutrimentos Cu, Fe, Mn y Zn. Sin embargo las cantidades de Fe tomadas por el T1, y de Zn por el T3, son casi idénticas a las absorbidas por el T4.

Tabla **6.** Análisis de los micronutrimentos de los diferentes sustratos usados en el experimento.

Tratamiento	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg/Kg)			
S2	90	9000	365	92.5
T1	76	8910	278	78
T2	82	9760	234	85
T3	72	9850	260	50
T4	66	8820	164	52
T5	2	0.8	10.8	0.6
Suelo	2.4	1.2	18	0.8

La caracterización de los sustratos, se realizó ya que el estudio de las propiedades físicas y químicas de los mismos es indispensable para evaluar su desempeño en cultivos (Urbina *et al*. 2006).

5.2. Cinética de Desarrollo de Plantas de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso

El desarrollo, expresado como altura de las plantas de Jitomate se evaluó a partir de los 25 ddt. En la figura 2 se puede apreciar que incluso a partir de esta primera medición, los tratamientos T2, T3 y T5 presentaron un crecimiento significativamente mayor ($p \leq 0.05$), superando al resto de los tratamientos.

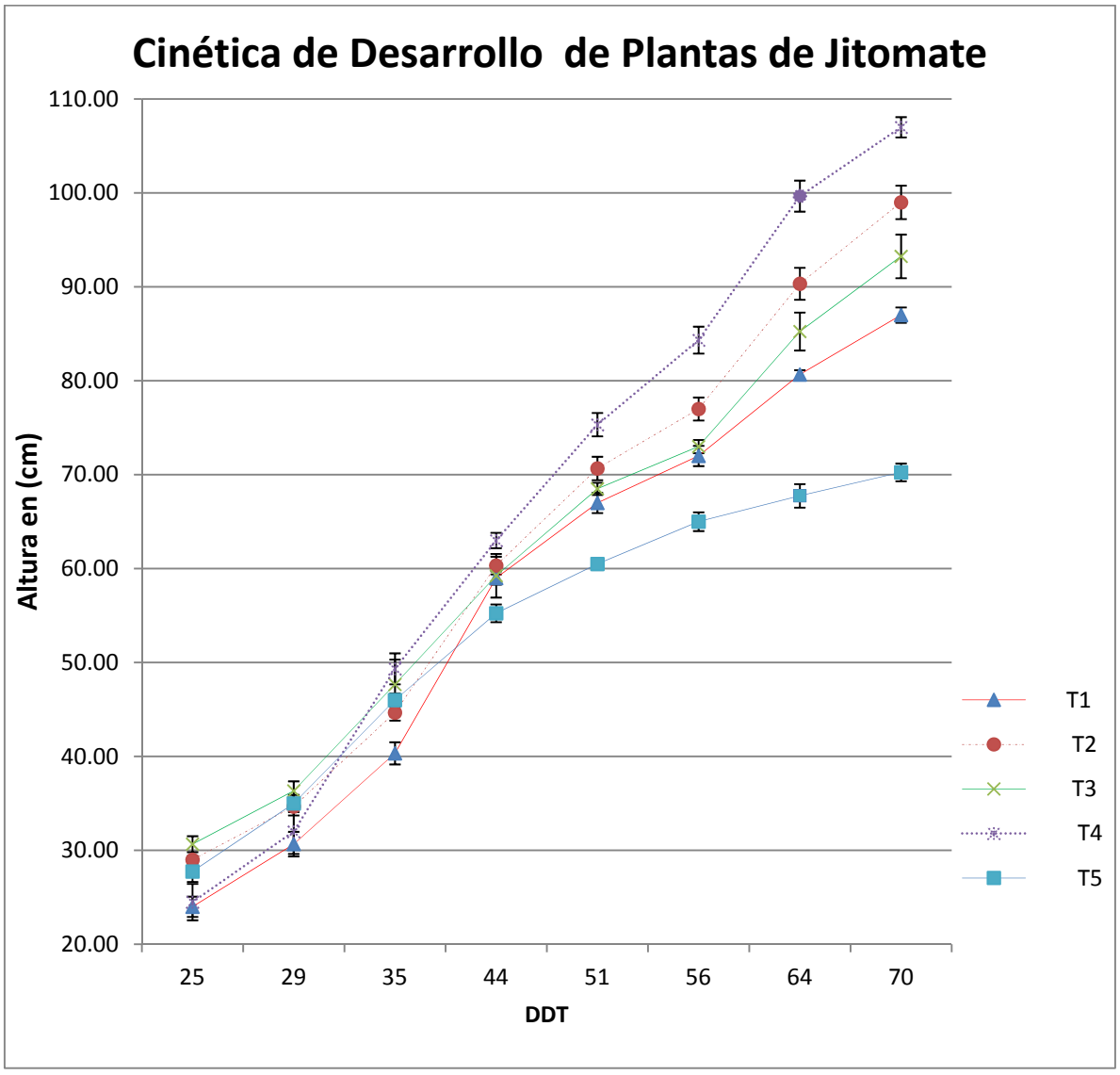

Figura 2.- Cinética de desarrollo de plantas de Jitomate *cv*. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y ($p \leq 0.05$).

En la segunda etapa de medición a los 29 ddt, las diferencias en el desarrollo de las plantas de los distintos tratamientos fue similar ($p \leq 0.05$) a la medición anterior. Para la tercera medición a 35 ddt (figura 2) los tratamientos T3 y T4 promovieron de manera significativa el desarrollo de las plantas ($p \leq 0.05$) en comparación con el resto de los tratamientos. Curiosamente, el T4 solamente 6 días antes era uno de los tratamientos que junto con el T1 habían presentado menor desarrollo.

El T1 fue el que presentó un significativamente menor ($p \leq 0.05$) desarrollo en comparación con el resto de los tratamientos. Es importante observar que después de los 35 ddt, todos los tratamientos presentaron un incremento exponencial en su desarrollo, el cual se mantuvo hasta el día 70, a excepción del T5 cuyo desarrollo fue significativamente menor ($p \leq 0.05$) al resto de los tratamientos a partir del día 44 ddt.

A los 51 ddt se pudo observar que el T4 presentó el mayor desarrollo de todos los tratamientos. El desarrollo presentado por las plantas de los tratamientos T2, T3 y T1 fue similar y las plantas del T5 presentaron el significativamente menor desarrollo de todos los tratamientos ($p \leq 0.05$).

A los 56 ddt el tratamiento T4 siguió conservando su superioridad como promotor del desarrollo de las plantas, seguido por el T2 que mostró una tendencia a promover en mayor grado del desarrollo de las plantas en comparación con los tratamientos T3 y T1, los cuales no presentaron diferencia en su efecto promotor. Nuevamente se mantuvo como el peor de los tratamientos el T5.

A los 64 ddt, la altura de las plantas fue significativamente diferente en los tratamientos; Nuevamente el T4 se mostró como el tratamiento con mayor influencia favorable en el desarrollo de las plantas, el T2 se comportó similar al T3 y el T3 al T1 y finalmente el T5 fue el que influyó en menor grado en el desarrollo de la planta que el resto de los tratamientos en cuestión.

El comportamiento observado se mantuvo para la última medición a los 70 ddt. El T4 con el factor de la inoculación de HMA superó en 8, 15, 23 y 52% a los tratamientos T2, T3, T1 y T5 respectivamente. Por otro lado, y en la misma secuencia descendente, el T2 con el factor de LV superó por 6, 14 y 41% a los tratamientos T3, T1 y T5 respectivamente; por último, se vio que el T3 con LVL superó en 7 y 33% a los tratamientos T1 y T5 respectivamente. En este sentido el T1 únicamente con S2 regado con agua superó en un 24% en el desarrollo al T5 con el SA.

5.3. Producción de Fruto por Planta de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso

Considerando la cantidad de factores que intervienen en el óptimo desarrollo de la planta y por ende en su etapa de producción de fruto, en este caso de la producción orgánica, se pudo observar que este tipo de sustrato y sus diferentes tratamientos, influyeron en el rendimiento expresado como la producción de frutos de jitomate (Figura 3).

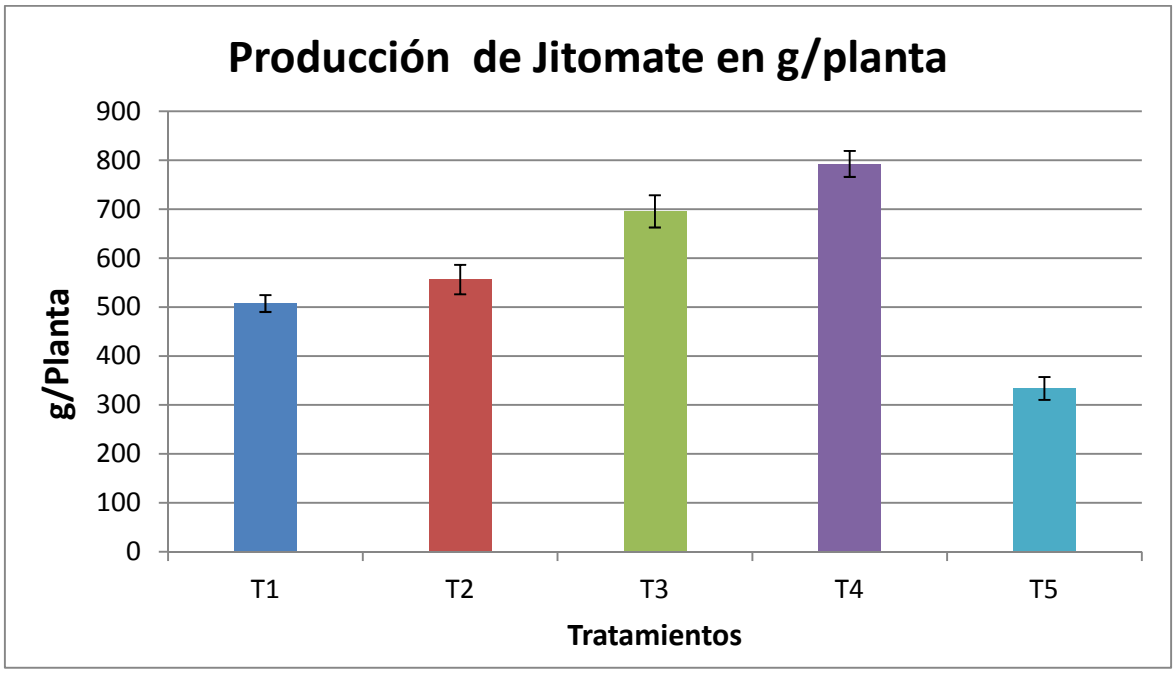

Figura 3.- Rendimiento en gramos de fruto por planta de Jitomate cv. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y ($p \leq 0.05$).

Como se observa en la figura 3 los tratamientos T4 y T3 presentaron una significativamente mayor ($p \leq 0.05$) producción de jitomate en gramos por planta, aunque T4 tuvo una producción promedio 14.5% mayor que el T3 lo cual considerado en términos de rendimiento sí podría representar una diferencia significativa. Los tratamientos que siguieron en rendimiento fueron el T1 y T2; aunque la producción de frutos de ambos fue similar, en términos agronómicos el T2 superó al T1 en con un 9.7% de producción de fruto por planta. El tratamiento que presentó una significativamente menor producción en comparación con respecto al resto fue T5 siendo superado en 52.0, 66.7, 108.5 y 140% por el T1, T2, T3 y T4 respectivamente. Cabe resaltar que el único factor que diferencia al T1 del T4 es que en este último las plantas se inocularon con HMA adjudicando el 56% del incremento de la producción a este tipo de biofertilizantes.

5.4. Porcentaje (%) de Pérdida de Peso en Jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro Cultivadas en Sustratos Orgánicos y en un Suelo Franco Arcilloso Durante 21 Días de Anaquel (dda)

En la figura 4, se aprecia la pérdida de humedad de los frutos cosechados en estado rayado de las plantas de jitomate cv. Toro sometidos a los 5 tratamientos antes mencionados.

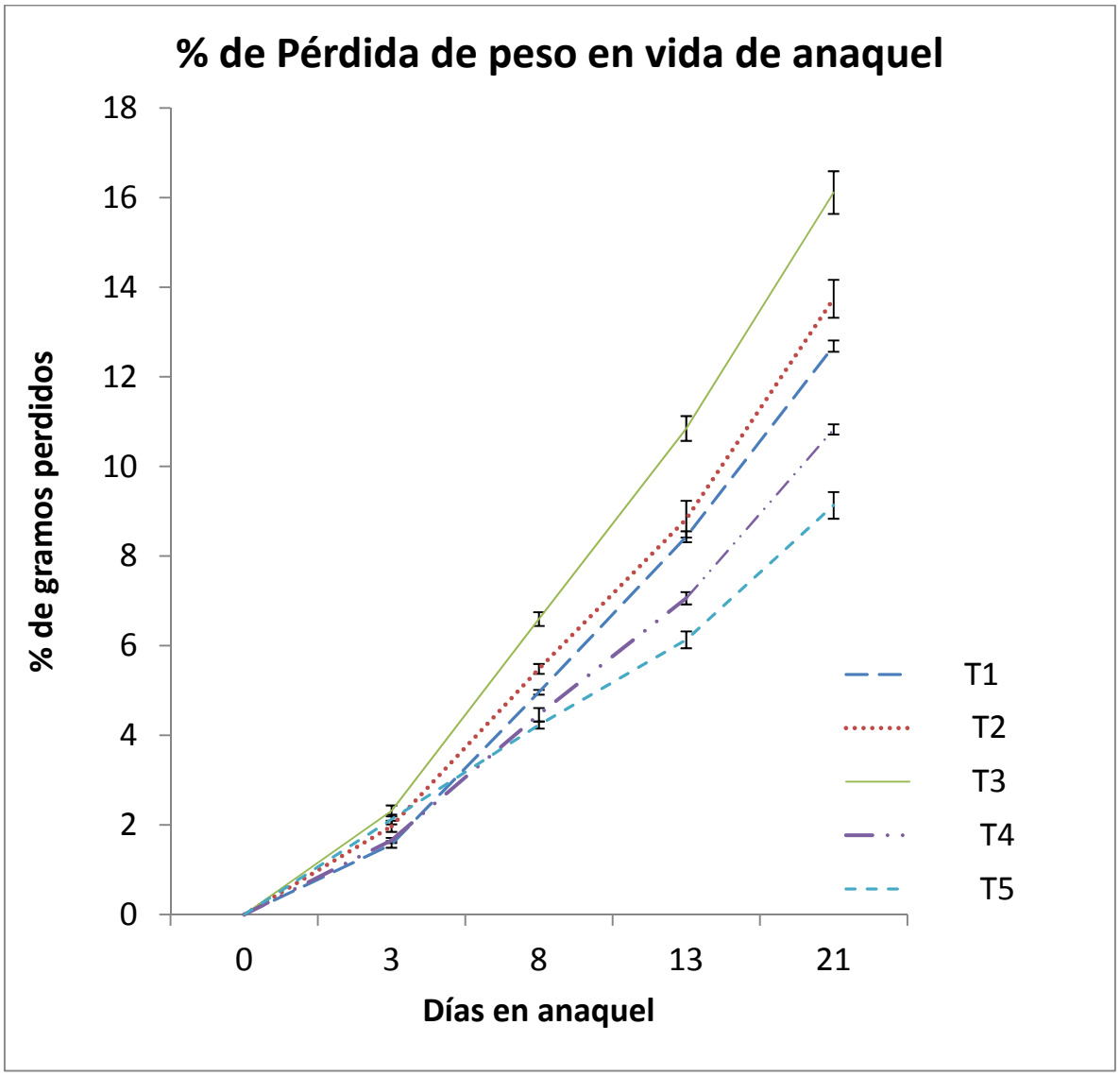

Figura 4.- Pérdida de peso en vida de anaquel de frutos de Jitomate cv. Toro. Donde T1:S2, T2:S2+LV, T3:S2+LVL, T4:S2+HMA, T5: SA, medias (n=4) y ($p \leq 0.05$).

En primer lugar pudo verse que en el primer registro a los 3 días de anaquel (dda) los tratamientos cuyos frutos registraron una significativamente menor ($p \leq 0.05$) pérdida de peso fueron T1 y T4. A estos tratamientos siguieron T3, T5 y T2 los cuales presentaron la mayor pérdida de peso, esto es, los tres tratamientos perdieron aproximadamente la misma cantidad de humedad.

A los 8 dda (figura 4), se observó un comportamiento en la pérdida de peso interesante. En el caso del T5, mismo que en la medición anterior había presentado mayor cantidad en pérdida de peso en los frutos, ahora fue el tratamiento que junto con el T4 influyeron en una significativamente menor pérdida de peso. A los 2 tratamientos antes mencionados, les siguieron en pérdida de peso el T1 y T2; así mismo, en último lugar y con una influencia en la pérdida de peso significativamente mayor ($p \leq 0.05$), quedó el T3, tratamiento que influyó en la mayor pérdida de peso en los frutos de jitomate cv. Toro.

Para el 13 dda la influencia de los diferentes tratamientos comenzó a tener cierta estabilidad en cuanto a la tasa de pérdida de peso lo cual se puede apreciar en la figura 4. Nuevamente puede verse que los tratamientos T5 y T4 fueron los que presentaron significativamente menores ($p \leq 0.05$) pérdidas en comparación con el resto de los tratamientos analizados; seguido de estos están los tratamientos T1 y T2 y por último el T3 tratamiento que influyó en la mayor pérdida de peso en los frutos de jitomate en esta etapa del experimento.

En la última medición se definió de forma más clara la influencia que tuvo cada tratamiento en la pérdida de peso de los frutos de plantas de jitomate sometidas a los 5 tratamientos; considerando la influencia en la pérdida de peso como una escala de mayor a menor, podemos decir que a 21 dda el tratamiento que influyó en la menor pérdida de peso en los frutos de jitomate fue el T5, seguido del T4; los tratamientos con valores intermedios en la pérdida de peso de sus frutos fueron T1 y T2 y el que mayor pérdidas provocó fue el T3.

VI. DISCUSIÓN

6.1. SUSTRATOS ORGÁNICOS COMO MEDIO DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro

De manera muy general y si se observan las características físicas y físico químicas del S2 en la tabla 4, puede verse como este cumple con los parámetros óptimos que debiese poseer un sustrato con las pretensiones de cultivo de hortalizas según Abad *et al*. (1992), y Fonteno (1996). Aunque en este caso el S2 no debe verse únicamente como un simple sustrato sino como un compost en proceso de biodegradación, donde la mineralización de los elementos y el proceso que esta implica es parte de la ingeniería del sustrato, el cual pudiera llamarse sustrato orgánico con una gran velocidad de biodegradación proveniente de la segunda etapa del proceso de compostaje de distintos materiales orgánicos y capaz de satisfacer las necesidades nutrimentales de las plantas de jitomate.

En lo que respecta a la inoculación de HMA en las plantas cultivadas en el S2, existen trabajos con resultados similares a los de este trabajo reportados por González *et al*. (2000), quienes usaron diferente cepa de HMA con componentes del sustrato distintos.

En el T4 el S2+HMA mostraron una sinergia excelente para influir en la planta en un mayor desarrollo longitudinal, mayor rendimiento y menor pérdida de peso en vida de anaquel respecto al T1, T2 yT3. Lo anterior coincide con lo reportado por González *et al.* (2000) quienes mostraron que el uso de *Glomus sp.* en plantas de cítricos, afectó significativamente por la composición del sustrato lo cual pudo deberse a la densidad aparente o al contenido nutrimental. Es sabido que la naturaleza y las propiedades de los sustratos afectan el establecimiento y comportamiento de los hongos micorrízicos, es decir, que las condiciones físicas y químicas del mismo son importantes para la eficiencia de los hongos micorrízicos arbusculares. En este sentido Manjarrez *et al.* (2000) y González *et* al. (2000) mencionaron que la selección

de sustratos es necesaria para permitir el buen desarrollo de la planta utilizada como hospedante, el establecimiento de la simbiosis y la producción de propágalos fúngicos.

En relación a la DA del S2 y a su relación directa con la capacidad de aireación del mismo, Saif (1981), reportó que una buena aireación del sustrato es útil para la respiración y actividad del hongo, lo cual repercute en mejores resultados de la simbiosis planta-hongo, además un sustrato ideal que permita una simbiosis micorrízica funcional y eficiente debe proveer un adecuado y balanceado suplemento de agua y oxígeno para el crecimiento del hongo y de las raíces.

Por otro lado, Wang *et al*. (1993) establecieron que la DA del sustrato puede influir significativamente en el establecimiento y crecimiento de los hongos endomicorrízicos, aunque no siempre hay una relación estricta entre colonización y respuesta de crecimiento de la planta hospedante, sino que la eficiencia micorrízica posiblemente es afectada por sus estructuras simbióticas, las que intervienen en los procesos de intercambio de nutrimentos. En este caso en particular, la simbiosis puso de manifiesto la eficiencia de estos HMA pudo promover los beneficios observados debido a que las plantas micorrizadas son capaces de hacer un mejor uso de los fertilizantes orgánicos, gracias a la asociación existente entre las hifas de las MA y los microorganismos que participan en la mineralización de la materia orgánica (Aguilar y Barea, 1992).

Además, los resultados contrastantes donde el T1 supera al T5 en desarrollo (a 70 ddt) y en rendimiento en un 24 y 53% respectivamente, demuestran buenas características del S2. Además de lo antes expuesto cabe señalar que un buen sustrato es esencial para la producción en maceta de plantas de calidad, dado que el volumen de la maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinados con un programa integral de manejo y fertilización, permitan el óptimo desarrollo de las plantas (Cabrera, 1995). Dado que en este trabajo las pretensiones de sustrato era obtener autosuficiencia

orgánica, los distintos componentes incorporados cumplen con este criterio. En este sentido Abad y Noguera, (2000) consideran que los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen mayormente a la química de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica.

Se cree que tanto la DA (0.45 g/cm^3 aprox.) como la alta CRA (200% aprox.) del S2 influyeron benéficamente por que T2 y T3 tuvieron un buen desarrollo y rendimiento por lo cual superaron a T1, ya que además de los beneficios que el S2 proporciona a la planta, este sirvió de esponja y suministrador paulatino de los distintos beneficios que los lixiviados de vermicompost y la leonardita proporcionan al desarrollo y rendimiento de la planta. Estas propiedades físicas del S2 de marera indirecta coadyuvó a mejorar la acción de los HMA, LV y LVL permitiendo que estos expresaran significativa y positivamente su influencia en las variables agronómicas consideradas en este trabajo. En este sentido, Pineda *et al.* (2008) mencionaron que las propiedades físicas como aireación, drenaje, retención de agua y densidad aparente, son consideradas como las más importantes para un sustrato debido a que si la estructura física es inadecuada, difícilmente se podrá mejorar una vez que se ha establecido el cultivo, y que como bien menciona Luque, (1981) es precisamente en el sustrato, en donde se hace necesario evaluar directamente la respuesta de la planta, de la cual dependerá su manejo adecuado.

Una vez comprobadas las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y microbiológicas del S2 como apropiadas para el cultivo jitomate *cv.* Toro en relación a los tratamientos aplicados, es preciso recordar que el S2 incluyó más de la mitad de materiales que son desechos de industrias y procesos lo hace económico y accesible lo cual concuerda con Sánchez y Escalante, (1989); Urrestarazú, (2000); Resh, (2001) quienes opinan que otras cualidades deseables de los sustratos son: alta porosidad, buena capilaridad, alta capacidad de retención de agua y, al mismo tiempo, buena aireación, durabilidad, economía y accesibilidad.

Tradicionalmente, los sustratos se obtienen por el método de “ensayo y error”. Es decir, analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas. Si el número de materiales es muy elevado, esto puede resultar en numerosas muestras a analizar. Evidentemente, el sentido común y la práctica evitan muchas mezclas innecesarias. Sin embargo, si a esto añadimos optimizar el costo de los materiales, o maximizar la dosis de un determinado material, resultará extremadamente complicado elaborar sustratos (Burés, 1997).

Pese a dichas dificultades es muy amplia da diversidad de trabajo que se han hecho en la búsqueda de sustitutos y mejoramiento en los materiales para la producción, en floricultura y horticultura. A continuación se presentan algunos trabajos donde se utilizaron sustratos obtenidos de diversas mezclas para la producción de plantas.

Garibaldi y Deambrogio (1989), utilizaron diferentes compostas a partir de lodos urbanos, desperdicio de maíz y uva, corteza, para cultivar plantas de crisantemo, donde los sustratos evaluados fueron tan buenos como el peat moss para crecimiento y floración de la planta. Algunas mezclas inclusive fueron mejores que el testigo.

Pasini *et al*. (1989), realizaron evaluaciones utilizando varios materiales como corteza de álamo, paja de arroz, composta de rosa, poliestireno, desechos de algodón y cáscaras de aceituna para cultivar *Diffenbachia* spp., donde los mejores resultados fueron mezclas de peat moss con composta de rosa y peat moss con corteza de álamo.

Garibaldi *et al*. (1990), cultivaron begonias utilizando como sustrato desechos de uva, composta de desechos urbanos tratados con lombriz de tierra, estiércol de vaca tratada con lombriz de tierra, hojas y corteza de maíz, y corteza de álamo, donde se estimó el desarrollo vegetal en dos fechas diferentes. En la primera estimación los mejores resultados los obtuvo el sustrato comercial, debido a la disponibilidad de la materia orgánica, sin embargo, para la segunda estimación, todos los sustratos

fueron comparables, a excepción de la composta de desechos urbanos que obtuvo los peores resultados.

Por otra parte Rexilius (1990), utilizó fibra de coco, humus de corteza, cáscaras de arroz y poliestireno como sustrato para cultivar orquídeas, donde demostraron que la fibra de coco se consideró particularmente conveniente para el crecimiento de la planta.

Ansermio *et al*. (1995), utilizaron corteza de pino composteada para cultivar petunias, al evaluar su desarrollo demostraron que las plantas tendieron a incrementar el número de flores, altura de planta, retoños y la relación retoño:raíz.

Sawan *et al*. (1998), al comparar el sustrato peat moss con composta de aserrín, vermiculita y residuos de cosecha, para cultivar pepino para semilla, los resultados indicaron que el aserrín pudo ser usado como sustituto de peat moss para la producción de semillas.

Freeman y Cawthon (1999), cultivaron plantas de *Tagetes patula* en desechos de cama de aves, biosólidos municipales, biomasa sólida de lecherías, heno y aserrín, donde indicaron que los desechos de camas de ave composteados con heno tuvieron bajas relaciones C/N, alta porosidad y baja capacidad de retención de agua y produjeron las plantas de peor calidad con alta mortalidad. Los biosólidos y los desechos de camas de aves compostados con aserrín y biomasa de lecherías fueron sustitutos efectivos del peat moss.

Entre los aspectos intrínsecos que deben resaltar dentro de la ingeniería de este sustrato y del hecho de hacer el trasplante al final de la etapa termofílica es que los compuestos que se descomponen fácilmente fueron consumidos, y compuestos como el humus ya fueron formados en esta etapa termofílica (Chefetz *et al*. 1996) mismo que sumado al humus contenido en el CEB y CCCA son de vital importancia para el buen desarrollo de la planta, ya que dicho humus contiene sustancias

húmicas, las cuales estimulan la absorción de macronutrimentos y el desarrollo de la planta (Gutiérrez *et al*., 2008; Alvarez y Grigera, 2005; Chen y Aviad, 1990). Otro aspecto importante es que en la tercera etapa del compostaje llamada la segunda mesofílica o de maduración, la temperatura del sustrato baja y el material es recolonizado nuevamente por organismos mesofílicos, incluyendo ciertos microorganismos benéficos que producen compuestos que estimulan el crecimiento de las plantas (Nyle y Weil, 2002; Chefetz *et al*. 1996).

La conclusión "…este sustrato particular proporcionó los mejores resultados en términos de cosecha" realmente quiere decir "…este sustrato dio los mejores resultados bajo el sistema particular de manejo que prevaleció durante el experimento" (Bunt, 1988). Aunque un simple cambio en las prácticas de manejo o un cambio en el medio ambiente, a menudo proporcionan resultados completamente diferentes (Nuez *et al*. 1995).

6.2. CINÉTICA DE DESARROLLO LONGITUDINAL DE PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) *cv*. Toro

Al cabo de 70 días de desarrollo de la planta, se pudo apreciar como de menor a mayor los tratamientos T3, T2 y T4 respectivamente, probablemente favorecieron la absorción de nutrimentos por la planta con respecto al T1, lo cual pudo repercutir en una estimulación del crecimiento más acelerado de la misma (Duarte *et al.,* 2004).

Los resultados de crecimiento mostrados por el T4 a los 70 ddt, son comparables a los reportados por Hernández *et al.*, (2005) en plantas de jitomate variedad Gironda, solo que en este último caso las plantas fueron cultivadas en sustratos inertes y fertilizadas a suficiencia con solución nutritiva. Lo anterior muestra el potencial del tratamiento para promover el desarrollo de las plantas.

Analizando la figura 2 en relación con el tratamiento que fue inoculado con HMA (T4), los beneficios de promoción del desarrollo de la parte aérea fueron evidentes a partir de los 29 días de la inoculación, los beneficios de dichos hongos, esto pudo deberse a distintas causas o a la suma de más de una de ellas. Es sabido que los HMA, contribuyen a la funcionalidad fisiológica de la planta hospedante, propiciando incrementos en su capacidad de crecimiento (Alarcón *et al*., 1998), lo cual pudo haber sido potencializado o mejorado al haber realizado el cultivo y la inoculación de estos HMA en las plantas de jitomate en el S2, debido a que las plantas micorrizadas son capaces de hacer un mejor uso de los fertilizantes orgánicos, gracias a la asociación existente entre las hifas de las MA y los microorganismos que participan en la mineralización de la materia orgánica (Aguilar y Barea, 1992) lo cual pudo haber influido en que el T4 a 70 ddt superara en un 23 y 52% a los tratamientos T1 y T5 (testigo) respectivamente en relación al desarrollo longitudinal de las plantas de jitomate.

Por otro lado, el comportamiento observado en las diferentes variables que fueron influenciadas por los tratamientos con LV (T2 y T3), cabe señalar que la mayoría de trabajos encontrados donde se utilizaron lixiviados de vermicompost, fueron para la fertilización foliar; tal es el caso de Pineda *et al.* (2008) que utilizó lixiviados de vermicompost como fertilizante foliar complementando a la fertilización química, obteniendo el mayor desarrollo en plantas de Nochebuena al aplicar cada 10 días dichos lixiviados al 0.05% diluidos en agua. Esto para evitar daños a la planta (Gutiérrez *et al.,* 2008). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este trabajo, ya que las plantas regadas con las soluciones de estos tratamientos presentaron un mayor desarrollo longitudinal respecto a las plantas del T1. De igual manera coinciden con los resultados reportados por Gutiérrez *et al.,* (2008), en plantas de sorgo, a las que se aplicaron lixiviados de vermicompost en la solución de riego presentando mayor desarrollo longitudinal que los tratamientos regados únicamente con agua. Esto fue atribuido por los autores a una mayor estimulación del desarrollo de la planta y a la absorción de macros primarios N, P y K, lo cual se vio reflejado de manera directa en el desarrollo de las mismas.

A reserva del T4, estos tratamientos aparentemente absorbieron mayores cantidades de N, P y K que el T1 y T5 como se puede apreciar en la tabla 5; una posible explicación se basa en reportes que indican que los lixiviados de vermicompost también contienen ácidos húmicos, reguladores del crecimiento y micronutrimentos que pueden tener efectos en la estimulación del desarrollo de las plantas debido a su efecto de mejora en el transporte de minerales en las membranas, de igual manera, incrementan la síntesis de proteínas, tienen una actividad parecida a la del ácido indol acético (AIA), auxina promotora del crecimiento (Arancon et al., 2005; Gutiérrez *et al.,* 2008; Pineda *et al.* 2008)). En este sentido, Mato *et al.* (1972) mostraron que las sustancias húmicas pueden actuar como hormonas del crecimiento, ya que inhiben la acción de la AIA-oxidasa, impidiendo la destrucción del AIA; por lo que afecta positivamente el crecimiento de la planta. De igual manera, se ha reportado que los ácidos húmicos incrementan el número de raíces, lo que estimula la absorción de macronutrimentos y el desarrollo de la planta (Gutiérrez *et al*., 2008; Alvarez y Grigera, 2005; Chen y Aviad, 1990). Otros de los beneficios se deben al incremento de la fotosíntesis y tienen efecto sobre la actividad enzimática (Chen y Aviad, 1990).

Por otro lado la superioridad observada en T2 con respecto al T3 supera en un (6%) en la cinética de desarrollo longitudinal se puede deber a que la alta concentración sustancias húmicas (debido a la adición de leonardita) de los mismos, puede producir la inhibición de la absorción de nutrimentos, tal como fue reportado por Pilanali y Kaplan (2003). En este caso el T3 influyó en una menor absorción de N, P, Ca, Fe y Mn respecto al T2.

La figura 2 muestra un aspecto medular de este trabajo en cuanto a que se refiere a las propiedades físicas del sustrato, las cuales determinan el éxito del cultivo de plantas en maceta, como lo mencionan Ansorena (1994), Cabrera (1995) y Abad y Noguera (2000), lo cual fue demostrado por el T5, en el que a partir de la medición a los 35 ddt expresa una disminución en su tasa de desarrollo diferenciándose del resto de los tratamientos y se mantiene a la baja hasta el fin de esta evaluación a los 70 DDT. A pesar de tener los nutrimentos necesarios para su óptimo desarrollo, se

considera que la baja tasa de crecimiento pudo adjudicarse a la textura arcillosa del suelo la cual permitió a una compactación del suelo, y a una mayor retención de agua, al grado de afectar el oxígeno disponible para la raíz originando un menor vigor en la planta (Hernández *et al.,* 2005), ocasionando problemas de aireación en la raíz (Resh, 2001; Urrestarazú-Gavilán, 2000) lo cual limitó las formas de acceso nutrimental a la misma ya sea por difusión, flujo de masas o intersección.

6.3. RENDIMIENTO EN GRAMOS DE FRUTO POR PLANTA DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro

En relación al T4 pudo observarse que el uso de hongos micorrízicos promovió el rendimiento de dichas plantas, esto coincide con el trabajo reportado por Velasco *et al.* (2001) quienes obtuvieron los mayores rendimientos en tomate de cáscara al inocular con *Glomus intrarradices*, donde además detectaron una mayor absorción de P (108.8 mg/planta) y N (1111.3 mg/planta) por la planta. Esto último también se observó en el T4 de este estudio, donde se percibe una mayor absorción de N, P, Cu, Fe y Mn respecto de T1, T2 y T3, dicha superioridad del T4 la podemos atribuir a que estos hongos mediante la actividad del micelio externo, facilitan la asimilación de nutrimentos (P, N, Ca, Mn, Mg, Zn, etc.) que la planta puede aprovechar (Alarcón y Ferrera, 2000) y que además de estimulan positivamente el crecimiento de las plantas, generando incrementos en el rendimiento (Elein y Leyva, 2006) lo cual permitió el 56% del incremento en la producción en relación al T1.

Una producción semejante también en el T4 fue encontrada en el trabajo realizado por León *et al*. (2005) quienes en un cultivo orgánico altamente tecnificado y a cielo abierto, obtuvieron hasta 750 g planta^{-1} , esta producción es menor incluso que la obtenida en este trabajo, la cual fue de 792 g planta^{-1}, lo cual al ser comparado con el rendimiento generado con el T4 se exhibe el excelente potencial que este sistema sustrato-microorganismo-planta posee.

En cuanto a los tratamientos con lixiviados, existen reportes del uso de estos en fresa donde al aplicar 2ml litro^{-1} en solución para fertilización foliar obtuvieron hasta un 14% de incremento en la producción de fruto los cuales a su vez presentaron mayor firmeza (Rajbir *et al*., 2010). Así mismo en un experimento con plantas de jitomate *cv.* Momotaro Pineda *et al.,* (2008) obtuvieron el mayor desarrollo y los mejores rendimientos en este cultivo al emplear como complemento de fertilización los lixiviados de vermicompost aplicados en forma foliar.

Dichos reportes del incremento en la producción con el uso de lixiviados se confirmó en este trabajo, aunque cabe señalar que la leonardita adicional en el T3 (respecto del T2) ocasionó un efecto en la rendimiento superior al T2 en un 26.06%, y que al contrario del efecto inverso que habían ocasionado las sustancias húmicas en el desarrollo en estos dos tratamientos, en este caso fue directo al rendimiento de fruto por planta. Esto pudo adjudicarse a los beneficios ya mencionados que otorgan los lixiviados de vermicompost en cuanto a la estimulación que genera en las plantas para una mayor absorción de macronutrimentos y una mejor disponibilidad de algunos micronutrientes (Gutiérrez *et al*., 2008; Alvarez y Grigera, 2005; Chen y Aviad, 1990). En este sentido se puede observar en las tablas 5 y 6 como es que el T2 y T3 tienen una mayor absorción de N, P, K y Mn, y de N, P, K, Mn, Cu y Zn, de esta forma, se puede relacionar el efecto que los lixiviados de vermicompost tienen en la absorción de N, P y K Gutiérrez *et al* (2008). Para el caso particular del K, el incremento acelerado en la extracción del mismo es debido, en gran parte, a la formación y el crecimiento de frutos, los cuales llegan a construir el principal órgano demandante de K con valores de 70 a 80% de la cantidad total extraída por la planta (Bugarín *et al.,* 2002b). En este caso el T3 fue el tratamiento que influyó en una mayor absorción de K por las plantas de jitomate respecto al resto de los tratamientos como bien se puede observar en la tabla 5, aunque esta mayor absorción no significó la superioridad en el rendimiento, ya que el T4 lo superó en 14.5%.

6.4. PORCENTAJE (%) DE PÉRDIDA DE PESO EN JITOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Toro

El promedio de pérdida de peso de los tratamientos T1, T4 y T5, evaluados en este trabajo, coinciden con los reportados en experimentos de diferentes jitomates híbridos tipo bola de hábito determinado cultivados en suelo con fertilización química reportados por Villareal *et al*. (2009); Villarreal *et al*. (1999) y Araiza *et al*. (1997) a 8 dda con 2.60 y 5.10% de pérdida de peso, cultivados en condiciones similares de suelo y clima. Para los 21 DDA los tratamientos T4 y T5 se asemejan a los resultados de porcentaje de pérdida de peso obtenidos por Villareal *et al*. (2009) quien a 20 dda registró un 9.8% de pérdida de peso a 20^{o}C en un híbrido tipo bola de hábito determinado clasificado como de larga vida de anaquel; considerando que el cv. Toro no está clasificado como de larga vida de anaquel, y en contraste con este experimento que fue basado en producción orgánica (a excepción del T5), frutos almacenados a temperaturas máximas de hasta 26 ^{o}C, podemos decir que los HMA del T4 influyeron positivamente en la vida de anaquel en comparación con los datos de híbridos clasificados como de larga vida de anaquel. Y que a diferencia del T1, T2 y T3, estos tuvieron 17.17, 26.87 y 48.75% mayor pérdida de peso que el T4 respectivamente, contrastando dichos porcentajes hasta el doble con los obtenidos por Villareal *et al*. (2009).

Como se ilustra en la figura 4, en términos generales podemos organizar la pérdida de peso en relación a los tratamientos a 21 DDA, ubicándolos en orden de menor a mayor pérdida de peso, quedando así T5, T4, T1, T2 y T3. Considerando la información antes dicha de que los HMA, los lixiviados de vermicompost y las sustancias húmicas promovieron tanto un mayor desarrollo longitudinal como un mayor rendimiento en las plantas de jitomate, esto repercutió en una mayor absorción de macro y micro nutrimentos en diferentes proporciones respecto a los distintos tratamientos. Para el porcentaje de la pérdida de peso es preciso considerar, que el fruto de Jitomate acumula más agua que cualquier otro órgano de la planta, llegando a valores de 94% (De Koning, 1989). En este sentido cabe

señalar que Marti y Mills (1991) indicaron que al afectar la absorción de Ca y K, se incide negativamente en la firmeza del fruto, ya que el Ca mejora la rigidez de las paredes celulares (Marschner, 1995) y prolonga la vida de anaquel de los frutos y por ende la pérdida de peso de los mismos (Villarreal *et al*., 2009), mientras que el K favorece la acumulación de sólidos totales en los frutos (Doran *et al*., 1999) además de que el K tiene un efecto hidratante en la célula (Marschner, 1986). Esta pudiera ser una explicación de lo observado en los distintos tratamientos dada la estrecha relación entre la pérdida de peso de los frutos y absorción de Ca y K que presentaron, estos.

A 21 dda el T4 es el tratamiento que influyó en la menor pérdida de peso (a excepción del T5) con alrededor del 10% de pérdida, esto pese a que absorbió casi la misma cantidad de K que el T3, sin embargo el T4 absorbió más Ca que el T3. En este último caso pudiera atribuirse su mayor pérdida de peso en relación a los 4 tratamientos restantes a la menor absorción de Ca por las plantas de dicho tratamiento. Así mismo podemos contrastar las pérdidas de peso de las plantas de T1 y T2 con base en la absorción de Ca y K de dichos tratamientos, lo cual concuerda con lo mencionado por diversos autores (Marti y Mills 1991; Marschner, 1995; Villarreal *et al*., 2009 y Marschner, 1986) en cuanto a la pérdida de peso de los frutos en vida de anaquel.

Estos datos contrastan con los registrados por Sánchez-Conde y Ortega (1968), quienes reportaron que la asimilación de N y P es incrementada cuando se fertiliza con ácidos húmicos líquidos mientras que la absorción de K disminuye. Esto difiere de lo encontrado en este experimento, donde se encontró que al incrementar las sustancias húmicas con la adición de Leonardita en el T3 la absorción de N y K no varió significativamente en relación al T2, e incluso la absorción de K se incrementó a tal grado de ser el T3 el que influyó en la mayor absorción de K por las plantas de jitomate.

Además, es preciso mencionar que el contenido de P (1.550%) en el S2 no inhibió la eficiencia de los hongos endomicorrícicos, como lo han reportado otros investigadores (Graham y Timmer, 1984).

VII. CONCLUSIONES GENERALES

El S2 posee las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y microbiológicas apropiadas para el cultivo jitomate *cv.* Toro inoculadas con *Claroideoglomus claroideum.*

El empleo de lixiviados de vermicompost o de la inoculación de HMA en el S2, sin agregar fertilización adicional, permitió un desarrollo normal de las plantas de Jitomate cv. Toro dentro del rubro de la agricultura orgánica.

La inoculación de HMA en las plantas de jitomate cultivadas en el S2, se considera una práctica con gran potencial para mejorar el rendimiento y la vida de anaquel del Jitomate cv. Toro.

No es recomendable el empleo de SA franco arcilloso en el cultivo en macetas de 12 L ya que debido a sus propiedades físicas muestra limitantes en el desarrollo y rendimiento del cultivo de Jitomate cv. Toro.

La incorporación de leonardita en los lixiviados de vermicompost permitió mejorar el rendimiento y la vida de anaquel de Jitomate cv. Toro.

VIII. PERSPECTIVAS

Aunque el objeto de estudio es el sustrato, hemos visto como tanto microorganismos como ciertas sustancias son herramientas que aunadas a sustratos orgánicos como el S2 son eficaces en la estimulación del desarrollo longitudinal de las plantas de jitomate, y que en búsqueda de armar paquetes tecnológicos de alto nivel para la producción orgánica, sería una excelente idea hacer planteamientos de investigación donde se varíen los factores antes mencionados pero aunados en el mismo experimento a tratamientos físico-químicos aplicados a la solución de riego y así poder seguir armando el rompecabezas de la producción orgánica influenciando las conciencias de los actores agrícolas a un enfoque distinto al de la Revolución Verde que nos vendieron nuestro vecinos. En este sentido se han llevado a cabo trabajos en los cuales otra forma de estimulación del desarrollo de la planta es planteado por Carbonell y Martínez (1998) y Duarte *et al.* (2004) quienes dicen y corroboran que los tratamientos físico-químicos, teles como agua activada y agua con tratamiento magnético, constituyen un vehículo estimulador de los procesos biológicos en la planta de jitomate, siendo de gran efectividad el uso de estos tratamientos de agua tratada magnéticamente y activada, ya que dichos tratamientos se han comportado como bioestimuladores vegetales de la planta de jitomate acelerando el crecimiento y rendimiento de la misma hasta en un 11.5 y 45.07% respectivamente además de incrementar los frutos por planta (Duarte *et al.,* 2004). Ya que desde el punto de vista de la conservación ambiental, complementar los paquetes tecnológicos de producción orgánica, ya sea con los tratamientos físico-químicos, el empleo de HMA, lo lixiviados y/o el reciclaje de residuos sólidos orgánicos pueden resultar atractivos para la agricultura orgánica, pues no contaminan el ambiente y su uso y aplicación pueden repercutir en el incremento de los rendimientos. Estas alternativas tienen una connotación especial, ya que la función principal hoy es eliminar la Agricultura Verde y promover técnicas físicas no contaminantes que propicien aumentar la productividad agrícola. (Duarte *et al.,* 2004).

Esto muestra que el sistema S2-*Claroideoglomus claroideum* pueden ser incluidos en los paquetes tecnológicos para la producción orgánica de jitomate bajo condiciones de invernadero, e incluso se recomienda llevar a cabo experimentos en los cuales se evalúe este tipo de sustratos como medio de generación de inóculo de este tipo de HMA. Este aspecto resulta relevante debido a que en la renovación tecnológica y modernización, los sustratos o medios de crecimiento desarrollan un papel fundamental en los viveros frutícolas, hortícolas, ornamentales y forestales (Pastor *et al*., 1998) y que aunado al conocimiento de las cepas de biofertilizantes que mejor funcionen en determinados sustratos en relación a ciertos cultivos, el avance en la estructuración de paquetes tecnológicos para la producción orgánica autosustentables será cada vez más eficiente.

Desde el punto de vista hortícola, el objetivo de cualquier sustrato de cultivo es producir una cosecha elevada y de calidad en el más corto período de tiempo, con los más bajos costes de producción (Nuez *et al*. 1995). En adición, la obtención y la eliminación del sustrato, una vez haya sido utilizado, no deberían provocar un impacto ambiental de importancia (Abad, 1993). El haber cultivado Jitomate en el S2 da un valor agregado a la calidad del producto, lo que sería interesante, sería volver a emplear el sustrato en otro ciclo (inclusive con otro tipo de cultivo con menos exigencias nutrimentales) de cultivo basándonos en los análisis de macros y micronutrimentos, lo cual le daría un segundo ciclo de reciclaje a los materiales empleados para la constitución del S2 y así contribuir a la información pertinente con el cuidado del ambiente.

Según Nuez *et al.,* (1995) una cuestión que se plantea frecuentemente es ¿Existe el sustrato “ideal” para el cultivo hidropónico del tomate? La respuesta obvia es “no”. El mejor medio del cultivo en cada caso variará de acuerdo con numerosos factores: Tamaño y forma del saco o contenedor, condiciones climáticos, sistemas de riego y fertilización, aspectos económicos, experiencia local en su utilización, etc. Sin embargo, es posible apoyarnos en paquetes computacionales de modelación, basados en los trabajos existentes, con el fin de pronosticar con gran probabilidad,

cuáles serían los conjuntos de factores (HMA, lixiviados, etc.) o elementos más factibles para cierto cultivo, bajo ciertas condiciones y sujeto al interés (flores, frutos, etc.) productivo en cuestión.

IX. LITERATURA CITADA

Abad M. 1992. Los sustratos hortícolas: características y manejo. Actas del II Congreso Nacional de Fertirrigación, Almería (1991): 1-15.

Abad B. M., Noguera M. P. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo. pp. 287-342. *In*: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. 2ª. Edición. CADAHIA, C. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Abad M. 1991. Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. En: "Rallo, L.; Nuez, F. (Eds.). La Horticultura Española en la C. E. Ediciones de Horticultura S.L., Reus": 270-280.

Abad M. 1993. Sustratos para el cultivo sin suelo: inventario y características. En: "Cánovas, F.; Díaz, J.R. (Eds.). Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. I.E.A./F.I.A.P.A., Almería": 63-80.

Abad M. y Noguera P. 1999. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. en: cadahia (coord.) cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid: 287-342.

Abad M. y Martínez P. 1996. Los sustratos y los cultivos sin suelo en españa. en: memorias curso master internacional, aprovechamiento de residuos ORGÁNICOS. Universidad Nacional de Colombia, Palmira: 22-24.

Abad M., Martínez H. M. D., Martínez G. P. F., Martínez C. J. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. I Jornadas de sustratos. Actas de Horticultura. 11: 141-154

Abad M., Noguera P., Puchades., Maquieira A. and Noguera V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. Bioresource Technology. 82: 241-245.

Aguas R. T., Ferrera C. R. M., González C. Ch., Villegas M. A. y Martínez G. A. 1995. Efecto del fósforo, vermicomposta, cachaza e inoculación micorrízica en el desarrollo

Carica papaya L. pp. 106. In: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch., y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.

Aguilar A. C., Barea J. M. 1992. Interaction between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. En Allen MF (eds.) Mycorrhizal Functioning. An Integrative Plant Fungal Process. Chapman *&* Hall. New York, EEUU. Pp. 163-198.

Alarcón A. 1997. Manejo de la micorriza arbuscular a nivel de vivero. *In*: VI congreso nacional de Micología *&* IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chis., México. p. 49.

Alarcón A. 2000. Micorrizas. In: Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (eds.). Microbiología agrícola para el siglo XXI. Colegio de Postgraduados.

Alarcón A., Fernández F., González A., Castillo G., González N., Rodríguez P. 2001. Evaluación Económica de la Aplicación de Biofertilizantes en dos Suelos Típicos de la Provincia de Granma, Cuba [versión electrónica]. Ciencias Técnicas Agropecuarias. 10: 81-86.

Alarcón A., Ferrera C. R., Villegas M. A., y Almaraz S. J. J. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. *In*. Zulueta R., R., Escalona A., M. y Trejo A., D. (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. p. 119-126.

Alarcón F., y Ferrera R. 2000. Biofertilizantes: Importancia y Utilización en la Agricultura [versión electrónica]. Agricultura Técnica en México. 26(2), 191-203.

Alef K., Nannipieri P. (eds.) 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. Pp 576. San Diego Ca.

Alfonso E., Leyva A., Hernandez A. 2005. Microorganismos Benéficos como Biofertilizantes Eficientes Para el Cultivo De Tomate *(Licopersicon esculentum* Mill*.)* [versión electrónica]. Revista Colombiana de Biotecnología. 7: 47-54.

Allison L. E., Bollenand W. B., and Moodil C. D. 1965. Total Carbon. Pp. 1346-1378. In: C. A. Black (ed.) Methods of Soil Analysis. Agronomy. 9. American Society of Agronomy. Madison, Winsconsin, USA.

Alvajana M. C. R., Hoppin J. A., Kamel F. 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. Ann. Rev. Public Heslth, 25: 155-197.

Alvarez R., Grigera S., 2005. Analysis of soil fertility and management effects on yields of wheat and corn in the rolling pampa of Argentina. Agronomy and Crop Science. 191: 321–329.

Anónimo. 2003. Normas para la producción y procesado orgánico. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). Victoria, Canadá. 158 p.

Anónimo. 2004. National Organic Program. United States Department of Agriculture (USDA). U.S.A. 554 p.

Ansermio S. D., Hocroft D. M. y Levin J. B. 1995. A comparison of peat and pine bark as a medium for bedding plant pack production. International Symposium on Growing Media & Plant Nutrition in Horticulture. Acta Horticulturae. 401: 151-160. Naaldwijk, Netherlands.

Ansorena M., J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.

Araiza E., Siller C. J., Muy R. D., Heredia B., Sánchez E. 1997. Maduración en frutos de tomate de larga vida de anaquel. Mem. XXVII Cong. Nac. de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 32. Mazatlán, México. p. 37.

Arancon N. Q., Edwards C. A., Bierman P., Metzger J. D., Lucht C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia . 49: 297–306.

Arrieta V., y Terés V. 1993. Caracterización física de mezclas de sustratos a base de escoria cristalizada de horno alto, corteza de pino y turba. Actas de Horticultura. 11: 77-82.

Atiyeh R. M., Subler S., Edwards C. A., Bachman G., Metzger J. D. 2000b. Effects of vermicompost and compost on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiología. 44: 579-590.

Atiyeh R. M., Arancon N. C. A., Edwards and Metzger J. D. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol. 75: 175-180.

Ayala S. A. 1999. Evaluación del polvo de coco como sustrato para la germinación y desarrollo inicial de plántulas de seis especies ornamentales. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 68 p.

Barois I., Verdier B., Kaiser P., Mariotti A., Rangel P. y Lavelle P. 1987. Influence of the tropical earthworm Pontoscolex corethrurus (Glossoscolecidae) on the fixacion and mineralization of nitrogen. Pp. 151-157. In: A. M. Bonvicini P. y P. Omodeo (eds.); on earthworms. Selected Symposia and Monographs U.Z.I., 2, Munich, Modena.

Benoit F. y Ceustermans N. 1990. The use of recycled polyurethane (PUR) as an ecological growing medium. Plasticulture. 88: 41-48.

Benoit F. y Ceustermans N. 1993. Growing tomatoes on ecologically sound substrates. Plasticultur. 97: 41- 47.

Berenguer J. J., Escobar I., Cuatrero J. 2003. Gastos de cultivos de tomate tipo cereza en invernadero. Actas de Horticultura (ISHS). 39: 47-48.

Bernabé G. T., Domínguez M. S. R. y Bautista S. A. B. 1993. Cultivo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* var. Florida sobre fibra de coco y pulpa de café. Revista Mexicana Micología. 9: 13-18.

Bethenfalvay G. J. 1993. The Mycorrizal Plant-Soil system in sustainable agriculture. Pp. 127-133. In: R. Ferrera-Cerrato y R. Quintero Lizaola (eds.). Agroecología, sustentabilidad y educación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Blake G. R. y Hartage K. H. 1986. Bulk Density. pp. 363-375. In: A. Klute (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Mathods. 2nd ed. ASA SSSA. Madison. Wis. USA.

Box G. y Hunter W. 1989. Estadística para investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de los datos y construcción de modelos. U.S.A. Ed. Reverté S.A. 675 pp.

Bugarín M. R., Spinola G. A., Sánchez G. P., García P. D. 2002b. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. TERRA Latinoamericana. 20:401-409, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Bunt A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London.

Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. S. L. Madrid, España.

Burés S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. *In*: Tecnología de Sustratos. Aplicación a la Producción Viverística Ornamental, Hortícola y Forestal. J N Pastor S (ed). Universitat de Lleida, España. Pp.19-31.

Bures S. 1999. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid. 220 p.

Cabrera R. I. 1995. Fundamentals of Container Media Management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 p.

Cabrera R. I. 1998. Propiedades, uso y manejo de cultivos para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo Serie Horticultura 5:5-11.

Cabrera R. I. 1999. Propiedades, uso y Manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en macetas. Revista Chapingo-Serie Horticultura. 5: 5-11.

Cánovas F. 1993. Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. En: “Cánovas F. y Díaz J.R. (Eds.). Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. I.E.A./F.I.A.P.A., Almería”: 29-42.

Carbonell Ma V. y Martínez E. 1998. Bioelectromagnetismo Aplicado a la Agricultura. Asignatura de Doctorado. Curso 1998-1999. ETSI Agrónomos (UPM). España.

Castillo E. A., Quarín H. S., Iglesias C. M. 2000. Caracterización química y física de composta de lombriz elaborada a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agricultura Técnica (Chile) 60:74-79.

Chefetz B., Hatcher P., Hadar Y., Chen Y. 1996. Chemical and Viological Characterization of Organic Matter during Composting of Municipal Solid Waste. Environmental Quality. 25: 776-785.

Chen Y. y Aviad T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp. 161-186. *In*: Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. Maccarthy P., CLAPP C.E., Malcolm R. L., Bloom P. R. (eds.). American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Chen Y. y Stevenson F.J. 1986. Soil organic matter interactions with trace elements. En: "Chen Y. y Avnimelech Y. (Eds.). The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht": 73-116.

Cruz J., Jiménez F., Ruiz J., Díaz G., Sánchez P., Perales C. y Arellanes A. 2003. Evaluación de densidad de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Agronomía Mesoamericana. 14: 85-88. Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.

Davies Jr. F. T., Estrada L. A. A., Finnerty T. L., Egilla J. N, and Olalde Portugal V. 2000. Application of mycorrhizal fungi in plant propagation systems. *In:* Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. (eds.). Investigación de la simbiosis micorrízica en México. Colegio de Postgraduados. (En Prensa).

De Koning, A. N. M. 1989. Development and growth of a commercially grow tomato crop. Acta Horticulturae. 260: 267-273.

De Giglio M. A. 2003. Growth of the fresh greenhouse tomato market in the USA. Acta Horticulturae. 611:91-92.

Doran I., Kesici S., Aydin A., Nizamoglu A. 1999. Effect of mineral fertilizers on leaf nutrients, yield, and quality properties of F1 hybrid tomatoes grown in a plastic house. En Anac D., Martin Prevel P. (Eds.) Improved Crop Quality by Nutrient Management. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 35-38.

Duarte C., Guevara G. y Méndez M. 2004. Uso del agua activada y con tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 13. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.

Elein T. y Leyva A. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas rizobacterias en tomate. Agronomía Costarricense. 30: 65-73. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Etchevers B. J. D. 1999. Análisis para asegurar la calidad en el proceso y el producto de los materiales orgánicos degradados. In: Martínez C., Romero R., Corlay L., Trinidad A. y Santoyo L. F. (eds.) I Simposio Internacional y Reunión Nacional Lombricultura y abonos orgánicos. SAGAR. Montecillo y Chapingo. México.

Etchevers J. D. 1992. Manual de Métodos para Análisis de Suelos, plantas aguas y fertilizantes. Análisis Rutinarios en Estudios y Programas de Fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Edo. De México.

Evans M., Konduru S. and Stamps R. 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. HortScience. 31: 965-967.

Ferrera C. R. y Alarcón A. 1998. Importancia de la simbiosis en la Agricultura. Programa y Resúmenes. Segundo Symposium Nacional de la simbiosis Micorrízica. 4-6 de noviembre de 1998. Colima, Col., México. p. 1-2.

Ferrera C. R. y Alarcón, A. 1999. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de cítricos. Horticultura Mexicana. 7:203.

Ferrera C. R. y S. Santamaría R. 1996. La biotransformación de la materia orgánica y el uso de microorganismos en la agricultura. In: R. J. Zapata, A. (eds). Memorias del Primer Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica. Colima, Col. México. Pp. 7-22.

Flores R., Livera M., Colinas M. T., Gaytán E. A. y Muratalla A. 2008. Producción de plántulas de ciclamen *(Cyclamen persicum Mill.)* en sustratos basados en polvo de bonote de coco [versión electrónica]. Revista Chapingo. Serie horticultura. 14: 309-318.

Fonteno, W. C. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties, pp. 93-122. In: Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops: A Grower's Guide. Reed, D.W. (ed.). Ed. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA.

Frederickson J., 2002. Vermicomposting trial at the worm research centre: part 1. Technical evaluation. Integrated Waste Systems. Open University.

Freeman T. M. y Cawthon D. L. 1999. Use of composted dairy cattle solid biomass, poultry litter and municipal biosolids as a greenhouse growth media. Compost Science & Utilization. 7:66-71.

García C., Hernández T. y Costa F. 1991. The influence of composting on the fertilizing value of an anaerobic sewage slude. Plant Soil 136: 269-272.

García G., Fueyo M. A., González J., Zabaleta I. 1993. Los estériles de carbón como sustratos de cultivo hidropónico. Actas de Horticultura. 11: 161-166.

García O., Alcántar G., Cabrera R., Gavi F. y Volke V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en macetas. *TERRA Latinoamericana. 19*:249-258. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Garibaldi E. A. Deambrogio F. y Accati Garibaldi E. 1990. Use of alternative substrates in the cultivation of Begonia semperflorens. Informatore Agrario. 46:69-71.

Garibaldi E. A. y Deambrogio F. 1989. Alternative substrates for the cultura of marguerites. Informatore Agrario. 45: 97-102.

Gasser J. K. R. (Ed.). 1984.. Composting of Agricultural and other Wastes, Proceeding of a seminar organized by the Commission of the European Communities, Directorate-General Science, Research and Development, Environment Research Programme, held at Brasenose College, Oxford, UK. 320 p. Elsevier Applied Science Publishers.

Gee G. W. and Bouder J. W. 1986. Particle – size Analysis: pp.383-411. In: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

Genevini P. 1997. Rice hull degradation by co-composting with cattle slurry. Soil Society. Plant Nutrition. 43: 135-147.

Gewin V. 2004. Nature. 428: 796-798.

Gómez H. T., Sánchez del C. F. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. TERRA Latinoamericana. 21:57-63 Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Gómez T. L., Gómez C. M. A., Schwentesius R. R. 1999. Producción y comercialización de hortalizas orgájicas e México, pp. 121-158. *In:* Agricultura de exportación en tiempos de globalización, el caso de las hortalizas, flores y frutos. Gramont de C. H., Gómez C. M. A., González H., Schwentesius R. R. (eds.). CIEESTAM/UACH. Chapingo, Estado de México.

González C. M. C., Ferrera C. R, y Pérez M. J. J. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autonoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados, Tlaxcala, Tlax., México.

González Ch. M. C. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular. Pp. 53-91. In: R. Ferrera C., González M.C. y Rodríguez M. N. (eds.). Manual de agromicrobiología. Trillas. México.

González J., García G., Zabaleta I., Fueyo M. A. 1993. Los estériles del carbón: definición, clasificación y características físico-químicas. Actas de Horticultura, 11: 97-110.

González M., Ferrera R., Villegas A. y Oropeza J. 2000. Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus so.* zac-19. TERRA Latinoamericana. 18. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

González S. R. F. y Martínez D. M. A. 2002. Dumping: El caso del jitomate, Mexicano 1996. Comunicaciones en Socioeconomía Estadística en Informática. 6: 1-30.

Graham J. H. y Timmer L. W. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizae development and growth response of rough lemon in soil and soilless media: Effect of phosphorus source. American Society. Horticulturae Science. 109: 118-121.

Grande L. R. 1982. Métodos para Análisis Físicos y Químicos en Suelos Agrícolas. 2da edición. Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

Guerrero A. et a. 1996. "influencia de diferentes sistemas de manejo agrícola sobre el estado microbiológico del suelo", en: X Seminario Científico del INCA y III Taller Internacional sobre Biofertilización en los tópicos, p. 60, la Habana, cuba.

Gutiérrez M. F. A. García G. R. C., Rincón R. R., Abud A. M., Oliva L. M. A., Marcos J. G. C., Luc Dendooven. 2008. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) using vermicompost leachate. Bioresource Technology. 99: 6174-6180.

Haimi J. y Huhta V. 1987. Comparison of compost produced from identical wastes by "Vermistabilization" and conventional composting. Pedobiología. 30: 137-144.

Hanan J. J., Holley W. D. and Goldsberry K. L. 1978. Greenhouse Management. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. USA.

Handreck K. A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil Science. Plant Anal. 24: 349-363.

Handreck N. B. and Blanck N. 1994. Growing media ornamental plants and turf. Revised edition. New South Wales University press. Kensington, Australia.

Hartmann H. y Kester D. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. Pág.880.

Hartmann H. T., Kester D. E., Davis Jr. F. T. 1990. Plant Propagation. Principles and Practices. 5ta. edición. Ed. Regents/ Prentice Hall. New Yersey. 647 p.

Hashemimajd K., Kalbasi M., Golchin A., Shariatmadari H. 2004. Comparison of vermicompost and compost as poting media for growth of tomatoes. Journal of Plant Nutrition. 27: 1107-1123.

Helrich K. (eds). 1990. Official Methods of Analysis; Association of Official Analytical Chemists. 15th edition., Inc. pp 725.

Henis Y. 1986. Soil Microorgnisms, Soil Organic Matter and Soil Fertility. Pp.159-168. In: Y. Chen y Y. Avnimelech (eds.). The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Hernández Q., Sánchez F., Peña A. y Montalvo D. 2005. Sustratos y frecuencias de riego para la producción de jitomate en hileras a diferente altura. TERRA Latinoamericana, 23: 341-349. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Hoitink H. A. J. y Kuter G. A. 1986. Effects of composts in growth media on soil borne pathogens. Pp. 289 – 306. In: Y. Chen y Y. Avnimelech (eds.). The role of organic matter in modern agriculture. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Incrocci A. P., Campiotti C. A., Balducchi R., Giunchi L. 2003. Energy, wáter and fertilizer requirement of a closed loop soiless culture of greenhouse cherry tomato in Sicily. Acta de Horticultura (ISHS). 614: 189-192.

Irízar M., Vargas P., Garza D., Tut C., Rojas I., Trujillo A., García R., Aguirre D., Martínez J., Alvarado S., Grageda O., Valero J., Aguirre J. 2003. Respuesta de los Cultivos Agrícolas a los Biofertilizantes en la Región Central de México [Versión electrónica]. Agricultura Técnica en México. 29:213-225.

Jarecki M. K., Chong C., Voroney R. P. 2005. Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. Journal of Plant Nutrition. 28:651–667.

Jenkinson D. S. y Rayner J. H. 1997. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Science. 123: 298 – 305.

John M. K. 1970. Colorimetric Determination of Phosphorus in Soil and Plant Materials with Ascorbic Acid. Soil Science. 109: 214-220.

Konduru S., Evans M. and Stamps R. 1999. Coconut husk and processing effect on chemical and physical properties of coconut coir dust**.** Horticulture Science. 34: 88-90.

Labrador M. J. 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. 2a edición, Ediciones Mundi-Prensa, España, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 293 p.

Landon J. R. (eds.). 1984. Tropical Soil Manual. Published in the USA, by Longman inc. Newyork. Pp. 450.

Lemaire F. 1997. The problema of bioestability in organic susbtrates. Acta Horticulturae 450. ISHS: 63-69.

Lemaire F., Fatigues A., Revière L. M., Charpentier S., Morel P. 2003. Cultures en Post et Conteneurs, Principes Agronomiques at Applications. 2a ed. INRA. Paris. 210 p.

León M., Cun R., Chaterlán Y. y Rodríguez R. 2005. Uso eficiente del agua en el cultivo del tomate protegido. Resultados obtenidos en cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 14: 9-13. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.

Lindsay W. L. and Norvell W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Coper. Soil Science. 42: 421-428.

López A., Trejo C., Peña C., Ramírez C., Tijerina L. y Carrillo J. 2008. Secado parcial de la raíz de jitomate: efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. Agricultura Técnica en México. 34: 297-302. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Texcoco, México.

Lucas R. E., Davis J.K. 1961. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Science. 92: 177-182.

Luque A. 1981. Physical and Physicochemical Properties of the Volcanic Materials Used in Hydroponics. Acta Horticulturae. 126: 51-57

Manjarrez M. J., Alarcón A. y Ferrera C. R. 2000. Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad. Pp. 238-250. *In*: Alarcón A. y Ferrera C. R. (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi-Prensa. México.

Márquez C., Cano P. y Rodríguez N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agricultura Técnica en México. 34: 69-74. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Texcoco, México.

Márquez C., Cano P., Chew Y., Moreno A. y Rodríguez N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 12: 183-188. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Márquez H. C., Cano R. P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Actas Portuguesas de Horticultura. 5: 219-224.

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press. London, UK.

Marschner H. 1986. Mineral nutrition on higher plants. Academic press. London, UK.

Marti H.R., Mills H. A. 1991. Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. J. Plant Nutrition. 14: 1165-1175.

Martínez A. A. 1995. Manual Práctico do Minhocultor. 3a Edición. Secretaria de agricultura y abastecimiento del estado de Sao Paulo. FUNEP. Brasil. 137 p.

Martínez E. y García M. 1993. Cultivos sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ediciones de Horticultura S. L., Reus.

Martínez F. X. y Burés S. 1988. Sustratos y medios para el cultivo sin suelo. Jornadas Técnicas sobre “El Cultivo sin Suelo”. FIRESME, Mataró. Texto de las Ponencias, pp. 12-35.

Martínez J., Peña A., Rodríguez J., Villanueva C., Sahagún J. y Peña M. 2005. Comportamiento productivo en híbridos de jitomate y sus respectivas poblaciones f2. Revista Chapingo. Serie Horticultura.11:299-307. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Martínez V. R. 2002. Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XII Congreso Científico del INCA. Programa y resúmenes. La Habana Cuba.

Mato M. C., Olmedo M. G., Méndez J. 1972. Inhibition of indoleacetic acid oxidase by soil humic acids fractionated in Sephadex. Soil Biology and Biochemistry 4: 469-473.

Meerow A. W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. HortScience 29: 1484-1486.

Mejía G. 1995. Agricultura para la vida: movimientos alternativos frente a la agricultura química. Cali, Colombia: Feriva, pp. 252.

Miller F. C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. Pp. 515-543. In: B. Metting , Jr. (ed.); Soil microbial ecology. Marcel Decker, Inc. New York.

Moinereau J., Herrmann P., Favrot J. C., Rivière L. M. (1987). Les substrats Inventaire, caractéristiques, resources. In: “Blanc, D. (Ed.) Les Cultures hors Sol. 2e éd. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris”: 15-77.

Molina I. et al. 1996. “nitrato, agente contaminante de las aguas” en: X seminario científico internacional del INCA, p. 61, la Habana Cuba.

Montero C., P. A. 1999. Efecto de enmiendas orgánicas sobre la disponibilidad de fósforo en un andisol. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. De México,. México.

Murray R. S. 1991. “ Estadística”. 2da edición. México: McGrawHill. Pp. 554.

Nelson P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Chapter V Root Media. Prentice-Hall. Inc.

Newsham K. K., Fitter A. H., Watkinson A. R. 1995. Arbuscular mycorrhiza protects an annual grass from root pathogenic fungi in the field. Ecology. 83: 991-1000.

Noguera P., Abad M. and Noguera V. 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. Acta Horticulturae No. 517. pp. 279-286.

Noguera P. y Abad C. 1997. Physical and chemical properties of corri waste and their relation to plant growth. Acta Horticulturae. ISHS.

Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. and Noguera, V. (2003). **"**Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium". Comm. Soil Sci. Plant Anal. (34) pp. 593-605.

Nuez F., Rodríguez A. del R., Tello J., Cuartero J. y Segura B. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Impreso en España. pp. 793.

Nyle C. Brady and Weil R. Ray. 2002. The Nature and Properties of Soils", Prentice Hall, Thirteenth Edition. 619,664, 518,519, (965 pp.).

Ojodeagua J., Castellanos J., Muñoz J., Alcántar G., Tijerina L., Vargas P. y Enríquez S. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en nvernadero. Revista Fitotecnia Mexicana. 31: 367-374. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.

Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. y L Dean. A. 1964. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate, U. S. Department of Agriculture.

Orozco G. R. 1997. Los sustratos hortícolas: importancia de sus propiedades físicas. EXPOINVERNADERO. V ciclo de conferencias sobre producción en invernaderos. 19 a 22 de febrero de 1997. Guadalajara, Jal.

Ostle B. 1968. Estadística Aplicada. Técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas. México. Editorial Limusa – Wiley, S. A. 629 p.

Palm C. A. y Rowland A. P. 1997. A minimum dataset for characterization of plant quality for descomposition. Pp. 379-392. In: G. Kadisch y K. E. Giller. (eds.); Driven by nature, plant litter quality and decomposition. CAB-International. Wallingford, UK.

Pasini C., Termini A. y D'Aquila F. 1989. Low-level peat substrates for Diffembachia cultivation. Annali dell'Istituto Sperimentale per la Floricoltura. 20: 45-56.

Pastor J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. Terra. 17:231-235.

Pastor J. N., Marfa O. y Savé R. 1998. Influencia del tipo de sustrato en el cultivo de arbustos ornamentales en contenedores. Pp. 95-106. *In:* J. N. Pastor. (ed.). Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universitat de Lleida. España.

Paul E. A. y Clark F. E. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. 2ªEdition. Academic Press. San Diego California USA.

Petit E., F. 2000. Cultivo en fibra de coco Parte I. En: Manual de Cultivos sin Suelo. M. Urrestarazu G. (Coord.). Ed. Universidad de Almería–Grupo Mundi-Prensa. Almería, España. pp. 517- 536.

Pilanali N., Kaplan M., 2003. Investigation of effects on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. Journal of Plant Nutrition. 26: 835–843.

Pineda P. J., Castillo G. A. M., Morales C. J. A. Colinas L. M. T., Valdez A. L. A., Avitia G. E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. Revista Chapingo. Serie horticultura. 14: 131-137. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Pozo M. J. 1999. Inducción de enzimas hidrolíticas en raíces de tomate (*Lycopersicon esculentum*) como respuesta a la formación de MA y su implicación en el control biológico de *Phythophtora parasítica*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.

Pudelski T. 1987. Horticultural use of compost. In: “De Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; Hermite, P.L.; Zucconi, F. (Eds.). Compost: Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., London-New York”: 20-29.

Quiñones A. E. E., Trejo A. D., Aguas R. T., Ferrera C. R. y González Ch. M. C. 1998. Hongos endomicorrízicos arbusculares y diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) en vivero. *In:* Zulueta R., R.; Escalona A., M. y Trejo A., D. (eds.). Avances de la Investigación Micorrízica en México, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver., México. p. 127-140.

Rajbir S. R. K., Gupta R. T., Patil R. R., Sharma R., Asrey A., Kumar K., Jangra K. 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (Fragaria _ ananassa Duch.). . Scientia Horticulturae. 124: 34-39.

Ramos C. 1993. La hidroponía y el medio ambiente. En: “Cánovas, F.; Díaz, J.R. (Eds.). Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. I.E.A./F.I.A.P.A., Almería”: 363-372.

Ramos C. y Góme, D. 1991. Impacto ambiental de la horticultura intensiva. En: “Rallo, L.; Nuez, F. (Eds.). La Horticultura Española en la C.E. Ediciones de Horticultura S.L., Reus”: 294-303.

Ratsch H. C. 1983. Interlaboratory root elongation testing of toxic substance on selected plant species. EPA-600/S3-83-051, U.S. Environ. Protection Agency, Corvallis. OR.

Raviv M., Chen Y., Inbar Y. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container-grawn plants. In: “Chen Y., Avnimelech Y. (Eds.). the Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht”: 257-287.

Raviv M., Medina S., Krasnovsky A., Ziadna H. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manura compost for organic agriculture. Compost Science & Utilization. 12: 6-10.

Raviv M., Oka Y., Katan J., Hadar Y., Yoguev A., Medin S., Krasnovsky A., Ziadna H. 2005. High nitrogen compost as a medium for organic container-growth crops. Bioresource Technology. 96: 419-427.

Redecker D., Kodner R. y Graham L. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. Science. 289: 1920-1921.

Reinikainen O. 1993. Choice of Growing Media for Pot Plants. Acta Horticulturae., 342: 357-360.

Resh H.M. 2001. Cultivos hidropónicos. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Rexilius R. 1990. Coconut fibers as crop substrates. Deutscher Gartenbau. 44:13

Reyes J. I. 2002. Asociaciones Biológicas en el Suelo: la Micorriza Arbuscular (MA). Revista ContactoS. 44: 5-10, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.

Rick C. M. 1976. Tomato. En: Evolution of crop plants. Simmonds, N. W. (ed.). Longman, London and New York. 268-273.

Rick C. M. 1978. The Tomato. Scientific American, August: 67-76.

Riviere L. y Caron J. 2001. Research in substrates: state of the art and need for the coming 10 years. Acta Horticulturae. 548: 29-37.

Rodríguez F., Velásquez G., Chamorro C. y Martínez N. 1993. Adaptación tecnológica de la lombricultura en la zona cafetalera de Albán Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia. Acta Biológica Colombiana (7 y 8):91-109.

Rodríguez M. M. N., Alcántar G. G., Aguilar S. A., Etchevers B. J. D., Santizo R. J. A. 1998. Estimación de la Concentración de Nitrógeno y Clorofila en Tomate Mediante un Medidor Portátil de Clorofila. Terra 16: 135-141.

Rodríguez M. R. 2004. Desarrollo y Caracterización de Sustratos Orgánicos a partir del Bagazo de Agave Tequilero. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México.

Rodríguez N., Cano P., Figueroa U., Palomo A., Favela E., Álvarez V., Márquez C. y Moreno A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Revista Fitotecnia Mexicana. 31: 265-272. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.

Rodríguez Y. Y. de la Noval P. B.; Fernández F. M., Rodríguez H. P. 2004. Estudio Comparativo del Comportamiento de Seis Cepas de Hongos Micorrízicos Arbusculares en su Interacción con el Tomate (Licopersicon esculentum M. Var "Amalia"). Ecología Aplicada. 3: 162-171. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

Ruiz L. J. M. y Azcón R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Physiology Plant. 95: 472-478.

SAGARPA. 2005. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Versión 1.1.

SAGARPA. 2006. Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON). Versión 1.1. Información Agrícola y pecuaria de los años 1980 a 2005. Programa para computadora. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Centro de Estadística Agropecuaria. México.

Saif S. R. 1981. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular arbuscular mycorrhizas. I. Effect of soil oxygen on the growth and mineral uptake of *Eupatorium odoratum* L. inoculated with *Glomus macrocarpus.* New Phytol. 88: 649-659.

Salzer P. y Boller T. 2000. Elicitor induced reactions in mycorrhizae and their suppression. En. Arbuscular mycorrhizas: Physiology and Function. (Y. Kapulnik & D.D. Douds Jr. eds.). Kluwer Academic Publishers. 1-10.

Sánchez C. M. P. y Ortega C. B. 1968. Effect of humic acid on the development and the mineral nutrition of the pepper plant. In: Control de la fertilización de las plantas cultivadas. Edafology and Biologycal Application. 2: 745–755.

Sánchez Del C. F. y Escalante R. E. 1989. Hidroponía: un sistema de producción. 3a edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Santamaría R. S. 1996. Aspectos biotecnológicos del proceso de vermicomposteo y su aplicación agronómica. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México.

Sawan O. M., Elissa A. M. y Abou H. A. F. 1998. Cucumber plant growth and yield as affected by using sawdust and peat moss mixes for seedlings production under protected cultivation. Egyptian Journal of Horticulture. 25: 321-334.

Schenck N. C. y Smith G. S. 1982. Additional new and unreported species of Mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 77: 566-574. Reproduced with permission from *Mycologia*. ©The Mycological Society of America.

Schenk K., Appel S., y Daum D. 1997. N_2O Emission during Composting of Organic Waste. Acta Horticola. 450: 253-261.

Schüβler and Walker C. 2010. A The *Glomeromycota.* A species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University. www.amf-phylogeny.com.

Simon L., Bousquet J., Lévesque R.C. y Lalonde M. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. Nature. 363: 67-68.

Smith S. E. and Read D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd. Ed. Academic Press, Hortcourt Brace & C. Publisher. London, United Kindom.

Soto E. 2003. El cultivo del cocotero, producción e importancia. Revisado en Internet en la página: www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd68/texto/esoto.htm-31k.

Stamps R. H. y Evans M. R. 1997. Growth of Dieffenbachia maculate “camille” in growing media containing sphagnum peat or coconut coir dust. HortScience 32: 844-847.

Steel R. G. y Torrie J. H. 1988. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2da edición. México: McGrawHill. Pp. 622.

Sylvia D. M. 1999. Mycorrhizal symbioses. In: Sylvia D. M., Fuhrmann J. J., Hartel P. G. and Zubare D. A. (eds.). Principles and applications of soils microbiology. Prentice Hall. Upper Saddle, N. J., U.S.A. p. 408-426.

Tam N. F. Y. y Tiquia S. 1994. Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. Resources Conservation and Recycling. 11: 261-274.

Trappe J. M. 1987. Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En Safir DG (eds.) *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants.* CRC. Boca Raton, FL, EEUU. Pp 5-25.

UNE-EN 13040:1999. Mejoradores de Suelo y Sustratos de Cultivo: Preparación de Muestras para Ensayos Químicos y Físicos, Determinación del Contenido de Materia Seca, Contenido de Humedad y Densidad Aparente Compactada en Laboratorio. AENOR. Madrid, España. 19 p.

Urbina E., Baca G., Núñez R., Colinas M., Tijerina L. y Tirado J. 2006. Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K+, Ca2+ O Mg2+ Y diferente granulometría. Agrociencias. 40: 419-429. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.

Urrestarazú G. M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Utkhede R., Koch C., 2004. Biological treatments to control bacterial canker of greenhouse tomatoes. Biocontrol. 49: 305–313.

Van O. E. A., Ruijs M. N. A., Van Weel P. A. 1991. Closed business systems for less pollution from greenhouses. Acta Horticulturae. 294: 49-57.

Vanachter A., Van A. C. y Van W. E. (1993). Problem shifts induced by modified growing substrates. Acta Horticulturae. 342: 103-109.

Vargas P., Castellanos J. Z., Sánchez P., Tijerina L., López R. Ma., Ojodeagua J. L. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco [versión

electrónica]. Revista Fitotecnia Mexicana. 31: 375-381. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México pp..

Velasco J., Ferrera R. y Almaraz J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y azospirillum brasilense en tomate de cáscara. TERRA Latinoamericana. 19: 241-248. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Vessey J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 255: 571–586.

Villarreal M., Parra S., Sánchez P., Hernández S., Osuna T., Corrales J. y Armenta A. 2009. Fertirrigación con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. Interciencia. 34: 135-139. Asociación interciencia. Caracas, Venezuela.

Villarreal R. M., Pérez R. V., Siller C. J. H. 1999 Fertirrigación nitrogenada y potásica, y su efecto en la producción y calidad de tomate, en valle de Culiacán, Sinaloa. Horticulticultura Mexicana. 7: 358-367.

Visser S. A. 1986. Effects of humic substances on plant growth. In: Humic Substances, Effect on Soil and Plants. pp. 89-135. REDA, Rome.

Wang G., Parent S., Gosselin A. y Desjardins Y. 1993. Vesicular arbuscular mycorrhizal on peat-based substrates enhance symbiosis establishment and growth of three micropropagated species. Horticulturae Science. 118: 896-901.

Warncke D. D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 21:223-225.

Wijnands J. 2003. The international competitiveness of fresh tomatoes, peppers and cucumbers. Acta Horticulturae. 611: 79-90.

Zuang H. and Musard M. 1984. Cultures Légumières sur Substrats. Centre Technique Inter-professionnel des Fruits et Légumes, Paris.

Zubillaga M. S., Branzini A. y Lavado R. S. 2008. Problemas de fitotoxicidad en compost. Revista Pilque, Sección Agronomía. 10: 9, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Zubillaga M. S., Civeira G., Rimski K. H., Lavado, R. S. 2004. Las pérdidas de amoníaco durante el compostaje de biosólidos y su posible impacto ambiental. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 77: 88-90.

Zubillaga M. S., Rimski K. H., Travería G. and Lavado R. S. 2005. Ammonia volatilization from different organic amendments during storage and after land application. Agrochemical 49: 169-174.

Zucconi F. y M. de Bertoldi M. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. Pp. 30-50. In: de Bertoldi M., Ferranti M. P., L'Hermite P. y Zucconi F. (eds.), Compost: Production, Quality and Use. Els. App. Sci. Udine, Italy.

Zucconi F., Pera A., Forte M. E. y de Bertoldi M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. BioCycle. 22:54-57.

X. ANEXO

Tabla 7.- Cinética de desarrollo de plantas de Jitomate *cv*. Toro.

	cm				
DDT	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
25	24.0±2.16b	29.0±0.82ab	30.7±1.70a	24.5±3.87b	27.8±2.22ab
29	30.7±2.62a	34.7±1.89a	36.3±2.05a	32.0±4.76a	35.0±1.83a
35	40.3±2.36b	44.7±1.70ab	47.7±5.31a	49.3±3.30a	46.0±1.41ab
44	59.0±1.41ab	60.3±1.89ab	59.3±4.65ab	63.0±1.63a	55.3±1.89b
51	67.0±2.16b	70.7±2.49b	68.5±1.29b	75.3±2.49a	60.5±1.29c
56	72.0±2.16c	77.0±2.45b	73.0±1.41bc	84.3±2.87a	65.0±2.00d
64	80.7±0.94c	90.3±3.40b	85.3±4.03bc	99.7±3.30a	67.8±2.50d
70	87.0±1.63c	99.0±3.56b	93.3±4.65bc	107.0±2.16a	70.3±1.89d

Tratamientos con la misma letra son iguales, tratamientos con letras distintas son estadísticamente diferentes a un α < 0.05

Tabla 8.- Rendimiento de fruto por planta de Jitomate cv. Toro.

Tratamiento	Producción de Jitomate en g/ Planta
T1	507.3±34.39b
T2	556.2±60.15b
T3	695.6±65.89a
T4	792.5±53.09a
T5	333.6±46.75c

Tratamientos con la misma letra son iguales, tratamientos con letras distintas son estadísticamente diferentes a un α < 0.05

Tabla 9.-Pérdida de peso en vida de anaquel de frutos de Jitomate cv. Toro.

	DDA			
Tratamiento	**3**	**8**	**13**	**21**
T1	1.57±0.15c	4.96±0.11bc	8.43±0.24b	12.69±0.25b
T2	1.97±0.25ab	5.48±0.22b	8.83±0.82b	13.74±0.85b
T3	2.31±0.24a	6.59±0.31a	10.85±0.55a	16.11±0.95a
T4	1.66±0.11bc	4.46±0.30cd	7.06±0.28c	10.83±0.23c
T5	2.12±0.22a	4.23±0.15d	6.13±0.38c	9.13±0.60d

Tratamientos con la misma letra son iguales, tratamientos con letras distintas son estadísticamente diferentes a un α < 0.05.