



**Champosta**

# Efecto de la aplicación de *Champosta* y sus derivados en la producción de tomate en invernadero

## **Autores:**

*Rene Arturo Fimbres Díaz, Alma Alicia Castelo Gutiérrez y Marco Antonio Gutiérrez Coronado*



**ITSON**  
Educar para  
Trascender

**Autores:**

Rene Arturo Fimbres Díaz  
Alma Alicia Castelo Gutiérrez  
Marco Antonio Gutiérrez Coronado

**Edición Literaria:**

Marisela González Román

**Diseño de Portada:**

Dulce Zyanya Islas Lee  
Adolfo Guadalupe Félix Murrieta

**Gestión Editorial:**

Oficina de Producción de Obras Literarias y Científicas

**INFORME TÉCNICO**

***Efecto de la aplicación de Champosta y sus derivados en  
la producción de tomate en invernadero***



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

2013, Instituto Tecnológico de Sonora.  
5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro,  
Ciudad Obregón, Sonora, México; 85000  
Web: [www.itson.mx](http://www.itson.mx)  
Email: [rectoria@itson.mx](mailto:rectoria@itson.mx)  
Teléfono: (644) 410-90-00

Primera edición 2013  
Hecho en México

**ISBN: 978-607-609-053-4 (Edición electrónica)**

Se prohíbe la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del Instituto Tecnológico de Sonora.

**Cómo citar este informe técnico:**

Fimbres R., Castelo A. y Gutiérrez M. (2013). *Efecto de la aplicación de Champosta y sus derivados en la producción de tomate en invernadero*  
México: ITSON.

## ÍNDICE

I. Introducción.....	6
1.1 Objetivo.....	8
II. Marco teórico.....	9
2.1 Generalidades del tomate.....	9
2.2 Agricultura orgánica. Una alternativa sustentable.....	9
2.2.1 Biofertilizantes microbianos.....	11
2.2.2 Biofertilizantes de abonos orgánicos.....	13
2.2.2.1 Composta.....	14
2.2.2.2 Materia prima.....	15
2.2.3 Proceso biotecnológico de compostaje de sustrato de champiñón.....	18
2.2.3.1 Factores que intervienen en el proceso de compostaje.....	20
2.2.4 Extracto de composta.....	23
2.2.4.1 Microorganismos presentes en el extracto de composta.....	24
2.2.5 Vermicomposta.....	25
2.2.5.1 Proceso de descomposición de la materia orgánica por las lombrices.....	26
2.2.5.2 Factores que afectan la producción de humus.....	28
2.2.6 Características y propiedades de la composta y vermicomposta como abonos orgánicos.....	29
2.2.6.1 Propiedad físicas.....	30
2.2.6.2 Propiedades químicas.....	30
2.2.6.3 Propiedades biológicas.....	31
2.2.7 Experiencias en el uso de compostas y vermicompostas.....	31
III. Materiales y métodos.....	34
3.1 Ubicación de los experimentos.....	34
3.2 Diseño experimental.....	34
3.3 Obtención de las fracciones líquidas de la composta.....	36
3.4 Fase 1. Caracterización de la composta sólida y sus fracciones líquidas.....	36
3.4.1 Composición mineral.....	36
3.4.2 Valoración microbiológica.....	36
3.5 Análisis de suelo.....	37
3.6 Fase 2. Evaluación de la aplicación de la composta y sus fracciones líquidas sobre el cultivo de tomate.....	37
3.6.1 Etapa 1. Efectos de los tratamientos sobre el suelo y las variables biométricas de rendimiento y nutrimentales de la planta.....	37
3.6.2 Etapa 2. Desarrollo de la planta en respuesta a la aplicación de los tratamientos de composta y sus fracciones líquidas.....	38

IV. Resultados y discusión.....	40
4.1 Fase 1. Caracterización fisicoquímicas de composta y sus fracciones líquidas.....	40
4.1.1 Composición mineral de la composta y sus fracciones líquidas.....	41
4.1.2 Valoración microbiológica de té de lombriz y extracto de composta.....	42
4.2 Análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos.....	43
4.3 Fase 2. Evaluación de la aplicación de la composta y sus fracciones líquidas sobre el cultivo del tomate.....	45
4.3.1 Etapa 1. Efecto de los tratamientos sobre el suelo y parámetros biométricos, de rendimiento y nutrimentales de la planta.....	45
4.3.2 Etapa 2. Desarrollo de la planta en respuesta a la aplicación de los tratamientos de composta y sus fracciones líquidas.....	52
V. Conclusión.....	61
VI. Referencias.....	63

## I. Introducción

Se considera que a nivel internacional, las hortalizas junto con las frutas ocupan en nuestros días el segundo lugar de los productos agropecuarios, apenas aventajadas por los cereales. Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50% de la producción en el mundo: la papa y el tomate, lo cual nos indica el enorme valor que este último cultivo representa no sólo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial (FAOSTAT, 2010). El tomate representa uno de los componentes más frecuentes de la dieta alimenticia. Basta revisar los anuarios estadísticos para constatar que es mundialmente consumido y apreciado, se sabe que a la fecha se tiene un consumo per cápita por arriba de los 20 kg por lo que su empleo está garantizado en el arte culinario por su color, aroma y sabor (San Martín-Hernández, 2011).

En México, como en otras partes del mundo, preferimos consumir el tomate fresco, pero también es utilizado como producto industrializado para elaborar pastas, salsas, purés, jugos, etcétera. (Benton-Jones, 2008), gracias a los avances tecnológicos para su procesamiento y a las modificaciones en los gustos y costumbres de las nuevas generaciones, lo que exige calidad en cuanto a su distribución y venta en fresco, determinando y condicionando nichos de mercado (Cook, 2007).

El "tomate rojo" es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera (Santiago, 1998). En la última década su producción se ha visto en aumento. Sobre todo del 2000 al 2011 donde se obtuvo un rendimiento considerable de 28 ton ha<sup>-1</sup> a 40 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente (USDA, 2012). En datos reportados por la USDA-GAIN recientemente, se tiene una proyección para este 2012 de 2.1 millones de toneladas producidas en México en una superficie plantada de 57,300 ha; la cual sería con una producción cerca de un 2% mayor

que la temporada 2009-2010. Esto es considerando que las condiciones climáticas favorezcan, y no comprometan la producción como el evento del frente frío que se hizo presente la temporada 2010-2011, dejando un 40% de plantas siniestradas en cultivos de tomate. Ante estos eventos es importante considerar las tecnologías de producción, para alcanzar a tener cierto control de factores externos. También es importante mencionar que los cultivos de tomate que han sido sometidos bajo condiciones de invernadero, han alcanzado rendimientos de hasta 150-200 ton ha<sup>-1</sup>, esto dependiendo del tipo de tecnología empleada (USDA, 2012).

Hoy en día, el consumidor ha centrado su atención en el origen y procedencia de los productos, dándole especial interés a aquellos que son producidos bajo un esquema de orgánicos (De la Cruz-Lázaro, 2009). No obstante, esta nueva tendencia de la agricultura orgánica emplea una gran variedad de opciones tecnológicas con el empeño de reducir y hacer recuperables los costos de producción, proteger la salud, mejorar la calidad de vida y la calidad del ambiente, a la vez que intensifican las interacciones biológicas del suelo y los procesos naturales beneficiosos (Rodríguez-Dimas, 2007; Ochoa-Martínez, 2009). Entre las opciones de prácticas agrícolas sustentables, se maneja el uso de biofertilizantes y abonos orgánicos, donde su principal objetivo está cimentado en mejorar la calidad de los suelos brindándoles una mayor fertilidad, mejorando su estructura y aumentando la actividad microbiana benéfica, entre otros (Widman-Aguayo *et al.*, 2005; Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Las compostas no son más que el resultado del proceso de descomposición de los desechos orgánicos en el cual el material vegetal y animal se transforman en abono por medio de una reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (Widman-Aguayo *et al.*, 2005). Cuando la composta es reincorporada en suelos arcillosos, se garantiza una mejor calidad en las cosechas y una mayor resistencia a plagas (Matheus, 2004), por lo que no deja de ser una opción viable para la implementación en cultivos de carácter orgánico. Los residuos que son generados tras el cultivo del champiñón,

han sido utilizados como materia prima para la elaboración de compostas gracias a la naturaleza de sus componentes, y la capacidad de los mismos para ser degradados por organismos heterotróficos. Por ende, al ser sometidos al proceso biotecnológico de compostaje rinde finalmente una composta de buena calidad.

### **1.1. Objetivo**

Evaluar el efecto de la aplicación de composta a base de champiñón a través de mediciones fisicoquímicas, fisiológicas, microbiológicas nutrimentales y de calidad, para aumentar el rendimiento y calidad post-cosecha del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

#### **Específicos**

- a) Caracterizar los productos de la composta a base de champiñón, determinando los niveles de macro y micro-nutrientes.
- b) Valorar la presencia de microorganismos en la composta a base de champiñón.
- c) Evaluar el efecto de la composta a base de champiñón aplicada en suelo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.
- d) Determinar el rendimiento del cultivo de tomate tras el efecto de las diferentes dosis de composta a base de champiñón.
- e) Evaluar los parámetros de calidad post-cosecha de los frutos de tomate tratados con la composta a base de champiñón.



## **II. Marco Teórico**

### **2.1. Generalidades del tomate**

En el ámbito mundial la papa y el tomate sobresalen al contribuir con el 47% de la producción de hortalizas seguidas por la col, la sandía y la cebolla. El comercio internacional de hortalizas el 70% se encuentra en siete productos: papa, tomate, cebolla, sandia, pepino, lechuga y melón (FAOSTAT, 2010). Sin embargo, México cuenta con una participación importante en exportaciones de hortalizas en el mundo gracias a que posee una riqueza de climas y ecosistemas que permiten la adecuada producción de hortalizas durante todo el año. Razón por la cual constituye una de las principales ventajas ante otros competidores potenciales (Nuez, 2001).

No obstante que las hortalizas se caracterizan por altos precios en el mercado, no todas sus variedades son igualmente beneficiosas y/o poseen los mismos rendimientos (Flores y Ford, 2010). Entre los tipos más rentables destacan: el tomate rojo, cuyo valor promedio de la producción durante el 2010 fue de 42.10 Ton/ha; mientras que para el 2011 alcanzo 41.21 Ton/ha según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (USDA, 2011).

Gracias a su fuerte demanda, el cultivo de tomate ha exigido mejorar las prácticas de manejo y tecnologías de aplicación. De tal modo que, permitan mayores rendimientos para lograr posicionarse en el mercado a un buen precio, sobre todo en las temporadas bajas de otros países, abriéndose una ventana importante para la colocación de producto en el mercado.

### **2.2. Agricultura orgánica. Una alternativa sustentable**

Actualmente el impacto de la tecnología de producción agrícola basada en los principios de la denominada *revolución verde*, ha sido menos notoria, pero la difusión de los métodos científicos y tecnológicos involucrados facilitó el mejoramiento promedio de algunos cultivos (Salazar-Sosa *et al.*, 2003). Sin embargo, esta estrategia no logró superar otros graves problemas hacia los que estaba dirigida, particularmente aquellos de carácter socio económico, que en muchos de los casos se acentuaron e incluso aparecieron otros como consecuencia de efectos adversos no previstos especialmente en el nivel ecológico: contaminación de aguas y de alimentos, degradación de suelos y pérdida de flora y fauna, como consecuencia de la sustitución de complejos y variados ecosistemas por extensos monocultivos (Browman, 1997). A lo que se suman una serie de graves afecciones en la salud de los productores y técnicos del sector agrícola, como de los consumidores finales de productos procedentes del campo.

En estas circunstancias comenzó a surgir una nueva corriente para la práctica de una Agricultura Alternativa, cimentada en el concepto de la sustentabilidad de los ecosistemas productivos, que enfatiza en uso racional de los recursos naturales que intervienen en los procesos productivos y lógicamente excluyendo en lo posible el uso de agroquímicos de síntesis (Delate *et al.*, 1999). Por lo anterior, habremos de considerar a la agricultura orgánica como un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos del campo, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana (FAO, 2011).

La Agricultura Orgánica emplea gran variedad de opciones tecnológicas con el empeño de reducir y hacer recuperables los costos de producción, proteger la salud, mejorar la calidad de vida y la calidad del ambiente, a la vez que intensifican las interacciones biológicas y los procesos naturales beneficiosos del suelo (Salazar-Sosa *et al.*, 2003). Propone alimentar a los microorganismos del suelo, y estos a su vez de manera indirecta alimentan a las plantas mediante la

incorporación al suelo de desechos vegetales y animales reciclados (sólidos y líquidos): abonos verdes, con énfasis en las leguminosas inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azoospirillum*), estiércoles de animales, residuos de la agroindustria, desechos urbanos compostados o fermentados, lombricompuestos (humus de lombriz), hongos micorrizógenos, aplicaciones de fitoestimulantes de origen orgánico ricos en fitohormonas, enzimas y aminoácidos, aplicación complementaria de polvos de rocas minerales (fosfatadas, carbonatadas, azufradas, etc.), y microelementos (Salazar-Sosa *et al.*, 2003; Nakkeeran *et al.*, 2005; Toro *et al.*, 2008; Lugtenberg y Kamilova, 2009; Pandiarajan *et al.*, 2012 ).

### 2.2.1 Biofertilizantes microbianos

El uso indiscriminado de productos agroquímicos y otras sustancias en la actividad agrícola, con la supuesta finalidad de mejorar la productividad y la calidad de la producción, puede generar serios desequilibrios en los ecosistemas por la contaminación del suelo, del agua, del aire y los alimentos, lo cual pone en peligro la salud humana (Aguirre-Medina, 2009). Lo anterior promueve la necesidad de buscar y evaluar fuentes alternativas de fertilización que satisfagan las necesidades nutrimentales de los cultivos.

Hoy en día, con el desarrollo tecnológico se han aplicado métodos microbiológicos para estudiar estos microorganismos y utilizarlos posteriormente, bajo el nombre genérico de *biofertilizantes*, en las prácticas agrícolas contemporáneas (Hernández-Díaz y Chailloux Laffita, 2001). Los biofertilizantes entran al mercado ofreciendo mejorar la calidad y los rendimientos de los cultivos sin presentar un carácter nocivo para el medio ambiente. Es entonces cuando la biotecnología entra en juego desempeñando un papel muy importante a la hora de proporcionar una agricultura sostenible. Entre sus prácticas utiliza sistemas biológicos y organismos vivos, o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos (Mejía, 1995). Abarca una amplia gama de tecnologías diferentes, como el empleo de biofertilizantes (Santillana, 2006),

agentes de biocontrol (López-Herrera *et al*, 1999) y además incluye la manipulación y transferencia de genes o clonación de plantas (Gutiérrez *et al*, 2003), que ha llevado a la selección de genotipos de forma más rápida y selectiva. Todo esto con la finalidad de aumentar la producción agrícola en el marco de una agricultura sustentable.

En el suelo existe una notable población microbiana, dentro de la que se encuentran los microorganismos benéficos, caracterizados por realizar sus funciones bajo la influencia de las raíces de las plantas (Santillana, 2006). Entre sus funciones se puede mencionar: la fijación del nitrógeno atmosférico, la solubilización del fósforo insoluble presente en el suelo, la antibiosis y la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal, entre otras; todas ellas de suma importancia para el normal establecimiento y aumento de la productividad de especies cultivables de importancia económica (Martínez, 2002).

Estos microorganismos benéficos, fundamentalmente bacterias, hongos filamentosos y actinomicetos; se encuentran normalmente distribuidos en el suelo (Terry-Alfonso *et al.*, 2005). Sin embargo están presentes en poblaciones insuficientes (entre  $10^3$ - $10^4$  células por gramo de suelo) como para provocar el efecto beneficioso deseado sobre las plantas; de aquí, la importancia de aumentar el número poblacional de estos ( $10^6$ - $10^8$  células por gramo de suelo), en función de potenciar su efecto, dando lugar como actividad resultante a la elaboración de biofertilizantes y bioestimuladores del crecimiento y desarrollo vegetal (Dibut-Alvárez y Martínez-Viera, 2006). Esta capacidad de respuesta de los biofertilizantes, se logra mediante, la interacción benéfica existente entre microorganismo-planta, que puede manifestarse por asociaciones mutualistas (Jaramillo *et al.*, 2007). Es decir, la planta proporciona carbohidratos generados de la fotosíntesis a los microorganismos y estos a su vez, facilitan a la raíz la absorción de nutrientes del suelo, principalmente de fósforo (Loredo *et al.*, 2007). Las interacciones entre plantas y microorganismos en el ámbito de las raíces están gobernadas por las condiciones del ambiente, estado fisiológico y vigor de la planta en desarrollo, por las características del suelo, su régimen hídrico y por el

manejo agronómico al que se someta la planta (Tsutomu *et al.*, 2007; González *et al.*, 2009). Dependiendo del tipo de relación con la planta, los microorganismos pueden ser benéficos o nocivos (Schippers *et al.*, 1987). En el caso de los microorganismos benéficos utilizados como biofertilizante, la relación es mutualista y es conocida como simbiosis. Si se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas (nódulos, vesículas, etc.) se denomina simbiosis obligada o estricta, y cuando el microorganismo sobrevive sin la planta y se asocia en beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa (Jaramillo *et al.*, 2007).

### 2.2.2 Biofertilizantes de Abonos Orgánicos

El uso de abonos orgánicos ha cobrado interés en los últimos años; su uso se ha fomentado por la agricultura orgánica gracias a la respuesta que han presentado en la mejora de las prácticas agrícolas. En la búsqueda de una agricultura sustentable, se ha considerado el uso de compostas y vermicompostas debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen y Carey, 2004). Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, la composta ha mejorado las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización de nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto Garibay *et al.*, 2002). En tanto que la vermicomposta es el producto de la serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1984). Además la vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico, tiene alto contenido de ácidos húmicos y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento (Hashemimajd *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2008).

### 2.2.2.1 Composta

La **composta** es el proceso de descomposición de los desechos orgánicos en el cual el material vegetal y animal se transforman en abono por medio de reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (Widman-Aguayo *et al.*, 2005). Cuando la composta es reincorporada en suelos arcillosos, se garantiza una mejor calidad en las cosechas y una mayor resistencia a plagas (Matheus, 2004). Por su parte, el *té de composta* es un extracto acuoso de alta actividad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica de la composta Ochoa-Martínez *et al.*, 2009). (El no oxigenar, no permitirá el desarrollo de organismos benéficos, he incluso una condición anaeróbica, puede producir ciertas sustancias nocivas para los microorganismos del suelo o las plantas (Ingham, 2005). Además, para estimular y favorecer el crecimiento de los microorganismos en el té, se agregan fuentes de nutrientes, como melaza, harina de pescado, extractos de algas marinas, polvo de roca, ácidos húmicos entre otros (Gonzalez-Salgado *et al.*, 2010). El té composta correctamente elaborado y aplicado, provee un set de microorganismos benéficos, los que pueden ser aplicados al suelo o asperjados sobre el follaje del cultivo (Ochoa-Martínez *et al.*, 2009).

Entre los beneficios potenciales que provee la aplicación del té de composta, encontramos:

- Evita el ataque de patógenos a la planta ya que los organismos benéficos ocupan los sitios específicos de infección del tejido vegetal.
- Los microorganismos responsables de provocar daños, no cuentan con alimento disponible porque los exudados de la planta son aprovechados por los organismos benéficos quedando los patógenos a niveles que no causan enfermedades.

- Los nutrientes solubles en el té son alimento para los microorganismos, permitiendo que crezcan más rápido, sean más saludables y puedan suprimir enfermedades más rápidamente.
- Los nutrientes del té son retenidos en la superficie de las hojas y con ello se obtiene una planta más saludable y capaces de generar más exudaciones que sirven de alimento a los microorganismos buenos.
- Provee de una mejor estructura al suelo ya que evita la acumulación de toxinas
- Hay una mejor retención de agua en el suelo
- Favorece el acceso de nutrientes a la raíz

Optar por esta tecnología, puede traer grandes beneficios. Un sistema radicular más saludable que posee una mayor funcionalidad, hace más eficiente el uso de los fertilizantes, evitando la pérdida por lixiviación y mejorando su absorción (Subler *et al.*, 1998).

#### 2.2.2.2 Materia prima

La materia orgánica sirve de alimento a las bacterias responsables de la descomposición. El cuadro 1 indica algunos materiales usados con frecuencia para la elaboración de compostas. Hay tres tipos de materias primas. Algunas suplen energía, otras tienen volumen, y otras proveen una combinación de ambas, energía y volumen.

Cuadro 1. Materias primas para el proceso de compostaje

---

**Materiales de energía**

*(mucha humedad, baja porosidad, alto nivel de nitrógeno)*

Recortes de césped

Estiércol de vacas, pollos o conejos

Desperdicios de frutas y legumbres

Recortes de plantas verdes

**Materiales voluminosos**

*(poca humedad, alta porosidad, bajo nivel de nitrógeno)*

Astillas de madera

Aserrín

Heno de hierba

Paja

Tallos de maíz

**Materiales equilibrados**

*(humedad media, porosidad media, nivel de nitrógeno medio)*

Recortes de árboles o arbustos molidos

Estiércol de caballos con paja

Hojas

Heno de plantas leguminosas

---

Fuente: Cogger, 2001.

Los materiales de alta energía suplen nitrógeno y los compuestos de carbono que se necesitan para el crecimiento rápido de los microorganismos. Si no se les añade materiales voluminosos, estos materiales quedan demasiado densos y húmedos y no permiten la penetración de aire provocando un olor a putrefacción



(Cogger, 2001). Esta categoría también considera materiales residuales de la preparación de comidas (partes de frutas, verduras, cascaras de huevo, entre otros) y desechos de origen animal (carne, piel, sangre, huesos y otros). Incluso se pueden considerar los restos de cultivos de las huertas, flores muertas, tallos, pasto, hojarasca. Los estiércoles, figuran en esta categoría gracias al alto contenido de nutrientes que contienen la orina y deyecciones, ya que son excelentes para el compostaje (SAGARPA, 2000).

Los materiales voluminosos son secos y porosos y permiten con mayor facilidad la entrada del oxígeno. Debido a su bajo contenido de humedad, no se descomponen tan rápidamente a diferencia de los materiales de alta energía (Cogger, 2001). Los más utilizados son los residuos de cosecha de prácticamente todos los cultivos, así como cascarillas y salvado obtenidos de la trilla y la molienda (SAGARPA, 2000).

Los materiales equilibrados suplen tanto energía como volumen. Estas materias se descomponen con facilidad, y no hay que mezclarlas con otros ingredientes. Algunos ejemplos son el estiércol de caballo con paja, hojas secas, entre otros. Una mezcla de materiales voluminosos y aquellos que suplen energía asegura un equilibrio provechoso entre humedad, aire y nutrientes. Una mezcla típica que consigue la descomposición rápida consiste en una parte de material de energía por cada dos partes de material voluminoso (Cogger, 2001). Estos desechos, como los restos de los árboles, hojas y ramas caídas son fuente importante de material para la elaboración de compostas, gracias a que contienen grandes cantidades de celulosa y lignina. Estos compuestos tienden a descomponerse parcialmente durante el proceso de compostaje, y continúan mineralizándose en el suelo después de aplicados (Schuchardt, 2005).

Estos materiales presentan relaciones carbono-nitrógeno (C/N) variables; una relación C/N alta significa que el proceso de descomposición es lento y se requiere de nitrógeno adicional para acelerar el proceso de descomposición, como se reporta para los residuos de cosecha y para algunos subproductos forestales. En contraste, una relación C/N baja indica que el material tiene alto contenido de

nitrógeno y en el proceso de descomposición se pierde nitrógeno en forma de amoníaco sobre todo cuando la temperatura se eleva y el pH es bajo. Por lo anterior, es conveniente mezclar materiales con altas y bajas relaciones C/N para que el nitrógeno, liberado por los materiales de baja relación de C/N, pueda ser utilizada por los materiales de altas relaciones C/N, y así los materiales se complementen desde el punto de vista de una descomposición más rápida (Mukthar *et al.*, 2004; Khalid *et al.*, 2010).

Cabe mencionar que todo material empleado para compostar influirá de una u otra forma a lo largo de todos los procesos que se irán produciendo. Por esa razón se recomienda adoptar la precaución de no incluir nunca elementos tóxicos como los materiales que puedan contener fungicidas, herbicidas y cualquier tipo de pesticidas porque siempre dejan algún rastro (Smith, 2009).

### 2.2.3 Proceso biotecnológico de compostaje de sustrato de champiñón

El proceso de compostaje se define como una descomposición biológica y de estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termófilas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y que aplicado al suelo produce un beneficio (Haug, 1993).

Durante este proceso se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos que actúa en cada fase (Bueno, 2003).

En la elaboración de la composta se parte del sustrato del champiñón como materia prima. Se acondicionan y mezclan los materiales para regular su contenido de agua y ajustar los nutrientes para lograr una relación adecuada C/N. Posteriormente, se da una aireación a la pila formada para activar los microorganismos y dar paso a la fase mesófila. En esta fase se produce la degradación de azúcares y aminoácidos por la acción de grupos de bacterias

*Bacillus* y *Termus*, alcanzando temperaturas hasta de 40° C (figura 1) (Miller, 1996; Beck-Friil *et al.*, 2001). Detrás de la fase mesófila, se da lugar a la fase termófila y es ahí donde se degradan ceras polímeros y hemicelulosa por hongos del grupo de los actinomicetos (*Streptomyces* y *Actinomyces*) (Finstein y Morris, 1975). En esta fase es de suma importancia el control de la temperatura, pues es tanta la actividad microbiana que puede llegar a superar los 60° C (Bardos y López-Real, 1991; Lung *et al.*, 2001). Particularmente, en el compostaje del sustrato de champiñón se inicia con una temperatura de 48° C, alcanzando una máxima de 62° C.

Seguido de las fases mesófila y termófila, viene la fase de enfriamiento. En entonces, cuando se realiza la degradación de las celulosas y ligninas por bacterias y hongos (*Aspergillus* y *Mucor*) manejando temperaturas por debajo de los 40° C (Frioni, 1990). Finalmente, llega la fase de maduración donde se estabiliza y polimeriza el humus a temperatura ambiente. Desciende el consumo de oxígeno y desaparece la fitotoxicidad (Mayea, 1992).

Una vez ya terminado el proceso de degradación, el producto queda listo para ser pasado por una criba para mejorar la granulometría. Se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos como controles de calidad y queda listo para el envasado. Todo el proceso se lleva a cabo en un tiempo promedio de 10 a 12 semanas.

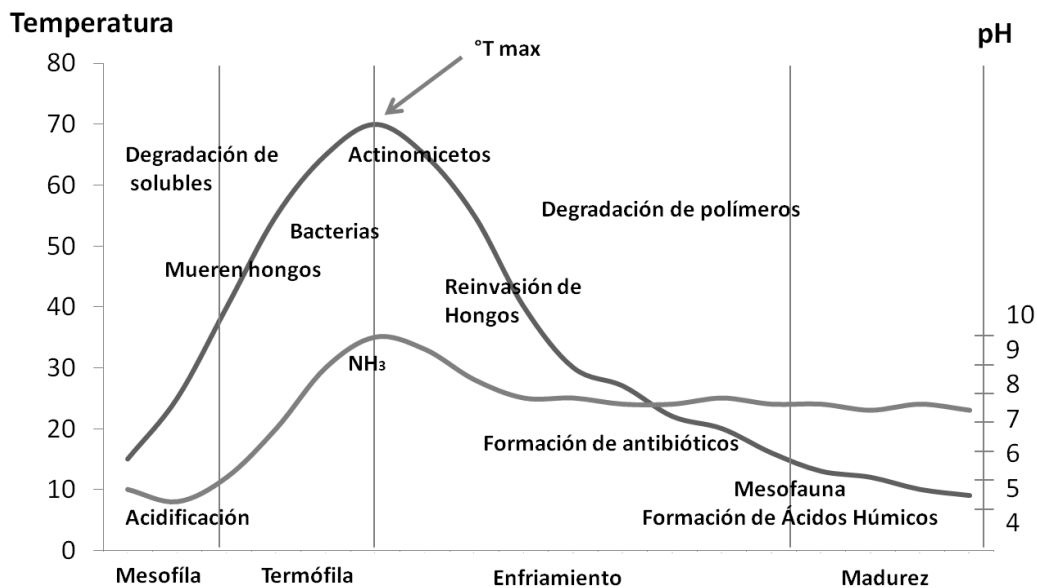


Figura 1. Proceso biotecnológico de compostaje. Gray, 1971.

### 2.2.3.1 Factores que intervienen en el proceso de compostaje

#### Temperatura

Es un factor indicativo de la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica. Cada material se descompone a una velocidad y temperatura diferente, por lo que es difícil determinar una temperatura óptima, pero si se puede fijar en el intervalo de 50-70° C, coincidiendo con la máxima tasa de producción de dióxido de carbono. En cambio, si tomamos como dato el mayor consumo de oxígeno, relacionado con la máxima tasa de descomposición, podemos fijar un intervalo mucho más pequeño centrado en torno a los 65° C (Suler y Finstein, 1977; Taiwo y Oso, 2004).

Por otro lado, las altas temperaturas alcanzadas en el proceso incrementan la actividad microbiana e inactivan los patógenos, esto es importante para conseguir una desinfección correcta del producto. Sin embargo, si la temperatura se incrementa en demasía podría producir la muerte de los microorganismos implicados en el desarrollo del proceso. Con ello, se produciría una reducción de

la biodiversidad y actividad microbiana en las pilas y en consecuencia, una disminución de la velocidad de descomposición de la materia orgánica (Dignac *et al*, 2005; Steger, 2003).

#### Humedad

Este factor afecta la descomposición y actividad de la población microbiana, estando relacionada con la evolución de la temperatura y el grado de descomposición del material orgánico. Además, la presencia de agua disuelve compuestos que pueden incorporarse fácilmente al interior celular (Hogan, 1998). El grado de humedad depende del tipo de materia, por ejemplo para materiales fibrosos o residuos forestales el grado idóneo es de 75-85% mientras que para material fresco es de 50-60% (Costa *et al*, 1995). Aunque se puede tomar como valor óptimo un 50-60%. Por debajo de 40% se reduce la actividad microbiana y por debajo de 20% el valor es altamente restrictivo. Por otro lado, tampoco es bueno el exceso de agua, ya que el agua desplazaría el aire de los espacios porosos, produciendo malos olores debido a que se establecen situaciones anaerobias (Trois y Polster, 2007).

#### Aireación

Al tratarse de un proceso aeróbico, el oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan realizar la descomposición. Por ello es necesario mantener un nivel de oxígeno óptimo, evitando que se produzcan situaciones anaerobias que reducirían la velocidad del proceso, así como crearían malos olores y reducirían la calidad del producto. Para conseguirlo, es necesario además de un aporte de oxígeno que la pila tenga una porosidad adecuada para una correcta difusión del aire (Trois y Polster, 2007).

Con la aireación, se consigue elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlamos con ello otros factores tan importantes como la temperatura o la humedad. Sin embargo, un exceso de aireación de la pila podría provocar el enfriamiento del material, así como un incremento de la evaporación de agua, lo que supondría la reducción de

la actividad microbiana. La mejor forma de conseguir el nivel óptimo de oxígeno es realizar una aireación por volteo, que además ayuda a la homogenización del material, impidiendo que todo el éste quede expuesto a las elevadas temperaturas del interior de la pila (Kulcu y Yaldiz, 2007).

## pH

El pH es un factor muy importante ya que influye activamente sobre la actividad microbiana ya que las bacterias y los hongos se desarrollan óptimamente a valores de pH diferentes. Las bacterias tendrán su máximo de desarrollo a pH de 6 y 7.5, mientras que los hongos les favorecen medios más ácidos de 5 y 6. Tras las fracciones de materia orgánica que van siendo biotransformadas en las distintas fases del proceso, se sabe cómo varía el pH (Costa *et al*, 1995).

En la fase mesófila, el pH disminuye por la formación de ácidos orgánicos originados por la acción de microorganismos sobre los carbohidratos, lo que favorece el crecimiento de hongos y la descomposición de celulosa y lignina. El pH en la fase termófila, aumenta hasta valores entre 8 y 9, esto es debido a la formación de amoníaco por la desaminación de proteínas. Además, fuertes aumentos de pH facilitan la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal. Durante la fase de maduración, el pH se sitúa en torno a 7-8, como consecuencia del humus que se va formando (Castrillón *et al*, 2006).

## Relación C/N

El carbono y el nitrógeno son dos elementos importantes en el proceso de compostaje, ya que además de soportar el crecimiento microbiano son elementos básicos de la materia orgánica. El carbono es aproximadamente el 50% de la masa celular, así como fuente de energía metabólica. Por su parte, el nitrógeno es un componente mayoritario de ácidos nucleicos, proteínas estructurales, enzimas y coenzimas, necesario para el crecimiento y desarrollo de las funciones microbianas (Sztern y Pravia, 1999). La relación C/N varía según los diferentes materiales usados en el proceso de compostaje. El valor de esta relación decrece según avanza el proceso de compostaje, por lo que es importante como indicador

de la evolución del proceso, ya que refleja el estado de los materiales que se están compostando. Al inicio del proceso la relación debe estar en torno a los 25-35, esto se logra mediante una buena mezcla de materia prima (Costa et al, 1995; Haug, 1993).

Por otro lado, si un sustrato contiene carbono difícilmente asimilable, la relación óptima para dicho residuo será mayor que la indicada anteriormente. Sin embargo, la relación óptima C/N rara vez se ve afectada por la disponibilidad del N ya que la mayor parte de los compuestos nitrogenados son fácilmente asimilables. El nitrógeno se convierte en factor limitante a valores de relación C/N elevados, lo que conlleva a una disminución de la actividad biológica. No obstante, la situación contraria una relación C/N baja, no afecta realmente al proceso, pero produce malos olores por la producción de amoníaco por la pérdida de nitrógeno (Zamora-Nahum *et al*, 2005).

#### 2.2.4 Extracto de composta

El extracto de composta elaborado y aplicado correctamente, garantiza la salud del suelo y plantas vigorosas (Capulin *et al.*, 2001). Con el uso continuo de composta y extracto de composta se beneficia tanto la composición del suelo como el desarrollo mismo de las plantas, pues se incrementa en grupo y medida la cantidad de organismos benéficos derivados del proceso de compostaje (Chapman y Pratt, 1991). Este proceso emana una gran diversidad de bacterias, hongos, protozoarios y nematodos benéficos capaces de sobresalir muy por encima de las posibles plagas que se pudieran presentar durante el ciclo de desarrollo de una planta. Sin embargo estos efectos se verán reflejados siempre y cuando el método de elaboración sea el adecuado (Defrieri *et al.*, 2005).

Existen un par de métodos de aplicación distintos, sin embargo no son mutuamente exclusivos; por lo que puede ser aplicado por aspersión en la parte foliar de la planta o bien, directamente en el suelo (Ingham, 2005). Cuando se

aplica extracto de composta en la parte aérea de la planta (aspersión), se les ve reflejado el beneficio de portar organismos benéficos, ya que producen componentes y metabolitos que inhiben la actividad y crecimiento de los microorganismos patógenos (Nieto-Garibay *et al.*, 2002). Por otra parte, cuando el extracto es aplicado en la parte del suelo ayudan al desarrollo de organismos benéficos alrededor del sistema radicular, aportando nutrientes a las raíces y mejorando la estructura del suelo (Eghball, 2000).

No obstante, el extracto de composta debe ser aplicado inmediatamente después de su preparación, ya que sin oxigenación, va gradualmente disminuyendo su calidad biológica, tolerándose un plazo máximo de 5 horas para mantener viva su microbiología (Dianéz *et al.*, 2006).

Para aplicaciones en el sistema de riego, la inyección de extracto de composta debe tener en cuenta el diámetro de descarga del emisor, la capacidad del filtro y el tamaño de los microorganismos. Evitando aplicar filtros sobre 200 mesh y goteros de muy bajo caudal (Ingham, 2005). La dosis de aplicación varía según el sistema y finalidad de la aplicación. Para sistemas de riego por goteo, se recomienda aplicar 150 L/ha, con una frecuencia de aplicación de 10-15 días hasta acompletar un volumen de 3000 L/ha (Riegel., 2008). Para cualquier otro sistema (microaspersión, aspersión, riego superficiales), se recomienda dosis mayores y de menor frecuencia (Larkin, 2008).

La aplicación de extracto de composta es un complemento al manejo del cultivo, y siendo bien utilizado puede generar grandes beneficios económicos y ambientales (Riegel, 2008).

#### 2.2.4.1. **Microorganismos** presentes en el extracto de composta

La composición microbiológica de una composta o su extracto básicamente está constituida por bacterias, actinomicetos, hongos, levaduras, protozoarios y



nematodos del suelo, mismos que realizan una serie de funciones vitales para el equilibrio de los ecosistemas. Según la abundancia de estos en la composta o el extracto, se destaca su efectividad (Duran, 2007). Un buen extracto, puede tener una cantidad de bacterias que va en orden de  $10^{10}$  y  $10^{11}$  individuos por mL (Ingham, 2005). Para lograrlo, es fundamental proporcionar una concentración adecuada de oxígeno, en el que alcanza un máximo de consumo en 16-20 horas desde el inicio de la operación y el cual no debiera tener una concentración menor de 5 ppm, así se asegura que los microorganismos generados se mantengan vivos y activos, logrando un producto de óptima calidad (Riegel, 2008).

La carga microbiana ideal de un buen extracto de composta se enlista en el Cuadro 2, donde determina los estándares de calidad biológica que debe tener un compost terminado según la Norma del USDA, EE.UU:

Cuadro 2. Carga microbiana ideal para un buen extracto de composta.

Recuento en placa heterótrofa	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^{10}$ UFC/gss
Recuento en placa anaeróbica	Aerobios: anaeróbicos = 10:1 o mayor
Hongos y levaduras	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ UFC/gss
Actinomicetos	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^8$ UFC/gss
Pseudomonas	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ UFC/gss
Bacterias fijadoras de nitrógeno	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ UFC/gss

UFC: Unidades formadoras de colonias.

Gss: gramos de suelo seco.

### 2.2.5 Vermicomposta

La vermicomposta es el proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, que involucra a las lombrices para convertir los materiales

orgánicos (generalmente residuos) en un material parecido al humus (Durán y Henríquez, 2009; Munroe, 2007; Aira y Domínguez, 2010). Esto se logra por la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost, compost de lombriz o humus de lombriz (Saavedra-González, 2007).

El vermicompost es uno de los fertilizantes naturales de más alta calidad y más nutritivos del mundo. Debido a su efecto en la mejora del suelo, promueve el crecimiento y un mayor rendimiento de los cultivos (Morales-Munguía *et al.*, 2009). El producto de la vermicompost es un material orgánico derivado de la actividad de la lombriz roja californiana (*Esenia foetida*) (Edward y Burrows, 1988). Este material orgánico presenta efecto sobre el crecimiento de la planta, el cual puede estar relacionado con la actividad microbiana (Márquez y Cano, 2005).

Entre las bondades del vermicompost se tiene además del efecto mejorador de suelos, gracias a su capacidad de almacenar nutrientes y agua (Moreno, 2006), le da fortalecimiento a las plantas dando lugar a la producción de plantas sanas y resistentes a las plagas (Domínguez *et al.*, 2010). Estimula el crecimiento de las raíces y previene a la planta de ataque por patógenos (Patriquin *et al.*, 1995). Minimiza los residuos sólidos con baja toxicidad y con metales pesados. Las lombrices pueden desintoxicar los suelos que contengan sustancias tóxicas y metales pesados procedentes de desechos industriales y agrícolas. Esto ocurre mediante el almacenamiento de estas sustancias en el tejido de las lombrices, gracias a las enzimas de las lombrices que pueden descomponer las sustancias tóxicas (Quintero-Lizaola *et al.*, 2003).

Es importante mencionar, que la manera en que la lombriz consume los alimentos es por succión, no tiene dientes, de ahí la importancia de mantener bien húmedo el residuo orgánico a transformar. Su nivel de eficiencia es del 60 %, es decir todos los días consume una cantidad de comida equivalente a su peso, excretando en forma de humus el 60 % de la misma; el 40 % restante es asimilado

y utilizado por la lombriz para sus funciones vitales. Así un kilogramo de lombriz, consume un kilogramo de desecho orgánico al día (Edwards y Bohlen, 1996; Pineda-Rodríguez, 2006).

#### 2.2.5.1 Proceso de descomposición de la materia orgánica por las lombrices

La descomposición de la materia orgánica incluye dos fases diferentes en relación a la actividad de las lombrices de tierra, una fase activa o directa, durante la cual las lombrices procesan la materia orgánica, modificando sus propiedades físicas y su composición microbiana (Lores *et al.* 2006), y una fase de maduración o indirecta durante la que los microbios asumen el control de la descomposición del material previamente procesado por las lombrices (Domínguez, 2004).

La duración de la fase activa no es fija, y depende de la especie y de la densidad de lombrices, así como de sus tasas de ingestión y procesado de materia orgánica (Aira y Domínguez, 2008). Las lombrices participan en la descomposición de la materia orgánica a través, en primer lugar, de los procesos asociados al paso a través de sus intestinos, que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica en descomposición y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partícula tras el paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de la actividad y de la diversidad microbiana, la modificación de las poblaciones de la microfauna, la homogeneización del sustrato y los procesos intrínsecos de digestión y asimilación; incluyen también la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos.

La descomposición se ve también favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices. Estos microbios producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido. Otras modificaciones físicas del sustrato originadas por las actividades excavadoras de las lombrices,

como la aireación y la homogeneización del sustrato, también favorecen la actividad microbiana y por consiguiente la descomposición de la materia orgánica (Domínguez, 2004). La actividad directa de las lombrices aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato, y tales efectos son proporcionales a la densidad de lombrices (Aira *et al.*, 2008). Otros autores han encontrado respuestas similares en organismos detritívoros involucrados en la descomposición de la materia orgánica (Aira *et al.* 2002; Vetter *et al.* 2004).

Una vez finalizados los procesos asociados al intestino las deyecciones de las lombrices, es decir los materiales excretados por las mismas sufrirán los procesos asociados a las deyecciones, más relacionados con procesos de envejecimiento, con la acción de la microflora y la microfauna presente en el sustrato y con la modificación física de los materiales excretados; estos procesos pueden variar en duración de semanas a meses (Aira y Domínguez. 2005). Durante estos procesos los efectos de las lombrices son indirectos y derivados de los procesos asociados al intestino.

#### 2.2.5.2. Factores que afectan la producción de humus

##### Temperatura

La temperatura más propicia para el desarrollo óptimo de las lombrices se encuentra alrededor de los 20 °C. En el extremo inferior las lombrices no pueden sobrevivir en temperaturas inferiores a 10 °C, mientras que por el otro extremo temperaturas mayores a 30 °C pueden ser mortales para ellas. Estas temperaturas extremas son difíciles de alcanzar en un medio sombreado o protegido, sin embargo pueden alcanzarse en una noche invernal o provocarse por una adición desmedida de materia orgánica fresca. La temperatura ideal para su crecimiento es de 20-25° C y la ideal para la formación de cocones e incubación es de 12-15° C (Sherman, 2003; Domínguez, 2004).

### Humedad

El riego debe ser fino para mantener húmedas las áreas de producción, en este sentido la humedad promedio más favorable para las lombrices es del 75 al 85 %. Debemos de revisar el depósito y verificar que este siempre presente una apariencia húmeda, al grado de poder en forma práctica extraer unas cuantas gotas, si lo tomamos en nuestras manos y lo apretamos, exprimiéndolo con nuestros dedos; por otra parte debemos de prevenir la entrada de agua en grandes volúmenes que pueden llegar a inundar el sustrato, lo que reduce la aireación necesaria y provoca el escape o ahogamiento de las lombrices (Domínguez y Edwards, 1997; Díaz, 2002).

### Aireación

Las lombrices al igual que nosotros necesitan del oxígeno, porque respiran y eliminan el bióxido de carbono, por lo que la composta o el sustrato deberá permitir la suficiente ventilación interna para que este proceso se lleve a cabo. Adiciones exageradas de alimento fresco, muy denso o pastoso pueden también provocar una falta de ventilación, se evita distribuyendo el material en capas más delgadas, o agregar material poroso (Díaz, 2002).

### Alimentación

Deberá de estar lo suficientemente asimilable para estos organismos vivos y estará en función a la cantidad de organismos vivos por superficie. Un kilo de lombrices se come un kilo de alimento al día (Loehr, 1995; Díaz, 2002).

### pH

La acidez o alcalinidad en el medio es una característica más difícil de observar y reconocer a simple vista, por lo que conviene tener a la mano un papel indicador de pH. Las lombrices pueden desarrollarse apropiadamente cuando el pH está entre 5, ligeramente ácido y 8 ligeramente alcalino, es decir un rango cercano al 7, que representa al neutro. Solo en casos muy extremos en el que los valores de pH se encuentren persistentemente inclinados hacia uno u otro extremo, se puede

tratar de neutralizar añadiendo pequeñas cantidades de cal disuelta para casos de acidez o vinagre en forma disuelta para reducir alcalinidad (Díaz, 2002; Sherman, 2003).

#### 2.2.6 Características y Propiedades de la Composta y Vermicomposta como Abonos Orgánicos

La composta es considerada un producto orgánico ya estabilizado el cual cuenta con propiedades únicas para la biorremediación de suelos infértiles, o bien, como fertilizante vegetal en menor grado. Entre sus características destaca que parte de residuos orgánicos que son degradados en presencia de oxígeno por acción de los microorganismos, donde la temperatura de la pila suele estar por encima de los 60° C. sin embargo, cabe mencionar que la descomposición de la materia orgánica se da por acción de diversos microorganismos entre los cuales las bacterias juegan un papel muy importante (Guzmán, 2007). Por su parte, el vermicompost se caracteriza por generar humus a partir del excremento de las lombrices. Es decir, que las lombrices trituran y digieren la materia orgánica, de tal manera que las enzimas digestivas alteran la composición de los materiales por medio de sus jugos gástricos. Tras este proceso digestivo se extraen savia, calcio, magnesio y demás elementos que eliminan en mayor proporción de lo que absorben.

##### 2.2.6.1 Propiedades físicas

Poseen propiedades coloidales que al aumentar la porosidad y aireación del suelo contribuyen a la infiltración y retención del agua y al desarrollo radicular. Mejora la estructura, dándoles menor densidad aparente a los suelos pesados y compactos y aumentando la unión de todas las partículas en los suelos arenosos. Mejora la permeabilidad y aireación. Reduce la erosión del suelo. Incrementa la capacidad de retención de humedad y confiere un color oscuro al suelo reteniendo calor (Lavelle y Spain, 2001; Díaz, 2002; Domínguez, 2004).

#### 2.2.6.2 Propiedades químicas

Potencializa los cultivos al incorporar a la rizosfera nutrientes en forma inmediatamente asimilables. Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre. Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente con el nitrógeno. Estabiliza la reacción del suelo debido a su alto poder amortiguador. Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción e inhibe el crecimiento de hongos y bacterias patógenas (Díaz, 2002; Lores *et al.*, 2006).

#### 2.2.6.3 Propiedades biológicas

Estimula la bioactividad al tener los mismos microorganismos benéficos del suelo pero en mayor cantidad, creando un medio antagónico para algunos patógenos existentes. El humus de la lombriz, neutraliza sustancias tóxicas como restos herbicidas, insecticidas, etc. y solubiliza elementos nutritivos poniéndolos en condiciones de ser aprovechados por las plantas gracias a la presencia de las enzimas que incorpora y sin las cuales no sería posible ninguna reacción bioquímica. (Díaz, 2002; Monroy *et al.*, 2008)

#### 2.2.7 Experiencias en el uso de compostas y vermicompostas

El empleo de los abonos orgánicos ha dado como resultado diversas respuestas. Por las características especiales que tiene el extracto de composta se usa para inocular la vida microbiana en la tierra o hacia el follaje de las plantas, y para agregar los nutrientes solubles al follaje o a la tierra como alimento de plantas (De Lara, 2007).

Márquez y Cano (2005) determinaron que los elementos nutritivos contenidos en la vermicomposta, fueron suficientes para obtener producciones aceptables en tomate cherry. Mezclas de vermicomposta. Mezclas de vermicomposta al 12.5 y

50% promovieron rendimientos similares en tomate en invernadero (Moreno *et al.*, 2005)

Por su parte Rodríguez-Dimas *et al.* (2007), evaluaron el efecto de vermicomposta en tomate de invernadero; el estudio mostró que se aumentó el contenido de sólidos solubles, número de frutos e inicio floración 10 días antes. Por lo que finalmente concluyen que el extracto de vermicomposta puede ser apropiado para la producción de tomate de invernadero.

Contreras *et al* (2008), aplicaron diferentes dosis de vermicomposta al suelo en plantas de café. Se determinó la altura de la planta y peso seco, obteniendo como resultado que a concentraciones de 10 y 20% de vermicomposta aplicada las plantas presentaron mayor altura. Sin embargo en el peso seco de las raíces fue mayor en la concentración más elevada (20%). Resultados similares se obtuvieron en plantas de tomate al utilizar ácidos húmicos extraídos de vermicompost, las cuales se vieron favorecidas positivamente con las mayores proporciones de vermicompost en el sustrato (Atiyech *et al.*, 2002; Acevedo y Pire, 2004).

Otros autores como De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009), evaluaron sustratos elaborados con mezclas entre compostas y vermicompostas con arena, a diferentes proporciones (100, 75 y 50%), bajo condiciones de invernadero. Los mayores rendimientos ( $39.811 \text{ t ha}^{-1}$ ), se obtuvieron de la composta al 75% y de la vermicomposta al 100 y 50%. Estos resultados demostraron que la producción de tomate en sustratos orgánicos bajo condiciones de invernadero, resultó atractiva ya que se produjeron rendimientos aceptables.

El uso de compostas y vermicompostas no es exclusivo de las hortalizas, puesto que se han reportado trabajos de evaluación del efecto de las mismas, en especies hortofrutícolas. Oropeza y Russian (2008), probaron el efecto del vermicompost en injertos de plantas de naranja *Citrus sinensis* en condiciones de vivero. Los mayores promedios de longitud del injerto y número de hojas así como longitud, peso fresco y peso seco de la raíz, se obtuvieron con la mayor concentración de vermicompost (10%). Finalmente se concluyó que el



vermicompost, es una alternativa orgánica para la fertilización de cítricos para disminuir los costos de producción. También se ha probado el efecto de compostas en especies de nogal pecanero. Zaragoza-Lira *et al.* (2011), probaron el efecto de composta sobre el rendimiento de nuez, encontrándose un aumento en el rendimiento y la calidad de la nuez respecto al testigo.

Por otro lado, cabe mencionar que los abonos orgánicos ofrecen alternativas al control químico para el manejo de fitopatógenos con origen en el suelo, ya que incrementan las poblaciones de los hiperparásitos y microorganismos antagonistas que producen enzimas y metabolitos tóxicos que afectan a los fitopatógenos (Zavaleta-Mejía, 2003). Estos efectos favorecen el desarrollo del sistema radical de las plantas, lo cual se traduce en un incremento del rendimiento del cultivo. Tal es el caso de Villa-Briones *et al.* (2008), quienes probaron el efecto de la vermicomposta y estiércol para el manejo de *Nacobbus aberrans* que es un nematodo agallador que puede ocasionar daños muy severos a la planta al grado de provocar la muerte de la misma. El trabajo consistió en la incorporación de vermicomposta y estiércol en condiciones de invernadero y se pudo observar que se redujo en 27 y 40% respectivamente, el índice de agallamiento radical en tomate. Además, se incrementó el volumen radical, peso seco del follaje y la necrosis radical fue significativamente reducida en un 25% (Villa-Briones *et al.*, 2008). Ante estos resultados se concluyó que el uso de vermicomposta favoreció el crecimiento de las plantas y redujo el ataque por el nemátodo.

### **III. Materiales y Métodos**

#### **3.1. Ubicación de los experimentos**

El experimento se fragmento en dos fases. La fase I, consistió en la caracterización de la composta y sus fracciones líquidas: té de lombriz y extracto de composta, determinando sus valores físico-químicos, nutrimentales y microbiológicos. Además se realizó un análisis del suelo empleado, mismo que se obtuvo del block 1107 del Valle del Yaqui, Sonora. México. La fase II, fue dividida en dos etapas: la etapa 1, determinó el efecto de los tratamientos sobre el suelo (Cuadro 3) y la respuesta del cultivo de tomate cv prolyco en las variables biométricas, nutrimentales y de rendimiento. La etapa 2, determinó el efecto de los tratamientos sobre sustrato con menor número de tratamientos los cuales se describen en el cuadro 4. Las variables a consideración fueron en base al desarrollo de la planta del cultivo de tomate cv grandella. Estas fases experimentales se llevaron a cabo en el invernadero del Instituto Tecnológico de Sonora, Campus Náinari, durante el periodo octubre 2012 y junio 2013.

#### **3.2. Diseño experimental**

El estudio fue evaluado bajo el esquema de un diseño completamente al azar (DCA), con cinco repeticiones por tratamiento. Los datos fueron analizados por comparaciones múltiples mediante un ANOVA, utilizando la prueba de medias LSD de múltiples rangos ( $p < 0,05$ ) con el programa Statgraphic Centurion.

Cuadro 3. Tratamientos y dosis de aplicación a plantas de tomate cv Prolyco, de la etapa 1 experimental con frecuencia de aplicación de siete días.

Experimento 1	Variante	Composta (kg/ha)	Té de lombriz (L/ha)	Extracto (L/ha)	Urea (kg/ha)
T1E1	Convencional	0	0	0	300
T2E1	Composta	250	0	0	0
T3E1	Composta	300	0	0	0
T4E1	Composta	350	0	0	0

Experimento 2	Variante	Composta (kg/ha)	Té de lombriz (L/ha)	Extracto (L/ha)	Urea (kg/ha)
T1E3	Composta + Té de lombriz + Extracto	150	1500	1500	0
T2E2	Composta + Té de lombriz + Convencional	150	1500	0	150
T3E2	Composta + Extracto + Convencional	150	0	1500	150
T4E2	Composta + Té de lombriz + Extracto + Convencional	150	1500	1500	150

Experimento 3	Variante	Composta (kg/ha)	Té de lombriz (L/ha)	Extracto (L/ha)	Urea (kg/ha)
T1E3	Té de lombriz	0	4000	0	0
T2E3	Extracto	0	0	4000	0
T3E3	Té de lombriz + Extracto	0	2000	2000	0
T4E3	Té de lombriz + Convencional	0	2000	0	150
T5E3	Extracto + Convencional	0	0	2000	150
T6E3	Té de lombriz + Extracto + Convencional	0	2000	2000	150

Cuadro 4. Tratamientos y dosis de aplicación a plantas de tomate cv grandella, de la etapa 2 experimental con frecuencia de aplicación de siete días.

Tratamientos	Variante	Composta (kg/ha)	Té de lombriz (L/ha)	Extracto (L/ha)	Urea (kg/Ha)
T1	Convencional	0	0	0	300
T2	Composta	300	0	0	0
T3	Té de lombriz	0	3,000	0	0
T4	Extracto de composta	0	0	3,000	0
T5	Composta + Té de lombriz	150	1,500	0	0
T6	Composta + Extracto	150	0	1,500	0
T7	Té de lombriz + Extracto	0	1,500	1,500	0
T8	Composta + Té de lombriz + Extracto	150	1,500	1,500	0
T9	Composta + Té de lombriz + Extracto+Convencional	150	1,500	1,500	150

### 3.3. Obtención de las fracciones líquidas de la composta

Para la obtención de las fracciones líquidas de la composta, se partió de la composta sólida generada a partir de los residuos del cultivo de champiñón (Champosta®), proporcionada por Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R.L. de La Barca, Jalisco, México. El té de lombriz se obtuvo del lixiviado de la vermicomposta a la cual su materia prima consistió básicamente del sustrato agotado del cultivo de champiñón sin compostear. El extracto de composta, se obtuvo de un preparado de composta sólida en agua en una relación 3:10; es decir, por cada 3 Kg de composta sólida se añadieron 10 L de agua común. Esta mezcla se mantuvo en agitación intermitente por 5 días a temperatura ambiente.

### 3.4. Fase I. Caracterización de la composta sólida y sus fracciones líquidas.

Se evaluaron las características físico-químicas de la composta sólida, té de lombriz y extracto de composta a base de champiñón, según la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 que determina las especificaciones y métodos de prueba para vermicompostas.

#### 3.4.1. Composición mineral.

Se realizó por el método de HACH, según las técnicas establecidas por Alcántar y Sandoval (1999), con ligeras modificaciones ajustadas a la naturaleza de las muestras.

#### 3.4.2. Valoración microbiológica

Se valoró la presencia de heterótrofos aerobios y anaerobios, hongos y levaduras, número más probable de *E. Coli*, *Pseudomonas sp.* y actinomicetos según el manual de análisis recomendados por American Public Health Association –APHA-.

### **3.5. Análisis de suelo**

El suelo utilizado para las pruebas, se obtuvo del block 1107, del Valle del Yaqui, Sonora, México. Las principales determinaciones analíticas para evaluar la fertilidad del suelo fueron: densidad aparente, pH, contenido de humedad, materia orgánica, textura del suelo, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica; instituidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Así como también el contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu) analizados con las técnicas analíticas, establecidas para cada nutriente por Alcántar y Sandoval (1999), según el manual de análisis químico HACH en un espectrofotómetro DR-2500 de HACH.

### **3.6. Fase II. Evaluación de la aplicación de la composta y sus fracciones líquidas sobre el cultivo de tomate.**

#### 3.6.1. Etapa 1. Efecto de los tratamientos sobre el suelo y las variables biométricas, de rendimiento y nutrimentales de la planta.

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del suelo apegados a la NOM-021-RECNAT-2000 y los parámetros biométricos de la planta como: a) altura (cm): se tomó en cuenta la longitud del tallo principal hasta la yema terminal de la planta; b) clorofila (UC): fue medida la hoja del tercer nudo con el equipo de SPAD 502 de Minolta; c) número de frutos: se hizo un conteo del total de frutos obtenidos en todos los cortes; d) peso seco aéreo (g): se llevaron a secado las hojas y tallos en horno a 60 °C por 48 horas, una vez secas se determinó su peso; e) contenido de humedad aérea (%): se determinó por diferencial de peso (peso aéreo fresco - peso aéreo seco/ peso aéreo fresco X100); f) longitud de raíz (cm): se midió la raíz principal de la planta; g) peso seco de raíz (g): se llevó a secado en horno a 60 °C por 48 horas, una vez secas las raíces se determinó su peso; y h) peso volumétrico (mL): se sumergió la raíz en una probeta con un volumen determinado y se tomó el dato del volumen desplazado.

Las pruebas nutrimentales se realizaron en la etapa de floración y al término del cultivo que fue a los 90 días después del trasplante (ddt). Los nutrientes analizados fueron macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu); analizados con las técnicas analíticas para tejido vegetal, establecidas para cada nutriente por Alcántar y Sandoval (1999), según el manual de análisis químico en un espectrofotómetro DR-2500 de HACH.

### 3.6.2. Etapa 2. Desarrollo de la planta en respuesta a la aplicación de los tratamientos de composta y sus fracciones líquidas

Se determinaron los parámetros biométricos de la planta como: a) altura (cm): se tomó en cuenta la longitud del tallo principal hasta la yema terminal de la planta, estos datos se reportaron como tasa relativa de crecimiento (TRC) basados en la fórmula de Mulholland *et al.*, 2003, la cual se indica a continuación:

$$\text{TRC} = \frac{\text{Altura final} - \text{Altura inicial}}{\text{Tiempo}} = \text{cm día}^{-1}$$

## Días transcurridos

b) clorofila (UC): fue medida la hoja del tercer nudo con el equipo de SPAD 502 de Minolta; c) peso seco aéreo (g): se llevaron a secado las hojas y tallos en horno a 60 °C por 48 horas, una vez secas se determinó su peso; d) contenido de humedad aérea (%): se determinó por diferencial de peso (peso aéreo fresco - peso aéreo seco/ peso aéreo fresco x 100); e) longitud de raíz (cm): se midió la raíz principal de la planta; f) peso seco de raíz (g): se llevó a secado en horno a 60 °C por 48 horas, una vez secas las raíces se determinó su peso; g) peso volumétrico (mL): se sumergió la raíz en una probeta con un volumen determinado y se tomó el dato del volumen desplazado, y h) área foliar (cm<sup>2</sup>) se obtuvo midiendo el largo y el ancho de la hoja, y multiplicando por la constante 0.65.

Las pruebas nutrimentales se realizaron en la etapa de floración los 70 días después del trasplante (ddt). Los nutrimentos analizados fueron macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrimentos (Fe, Mn, Cu); analizados con las técnicas analíticas para tejido vegetal, establecidas para cada nutriente por Alcántar y Sandoval (1999), según el manual de análisis químico en un espectrofotómetro DR-2500 de HACH.

Se realizó una evaluación microbiológica para valorar el contenido de heterótrofos aerobios, *Pseudomonas*, hongos y levaduras en el sustrato tras la aplicación de los tratamientos de composta, té de lombriz y extracto de composta. Esta valoración se realizó siguiendo las técnicas del manual de análisis recomendados por American Public Health Association –APHA–.

## **IV. Resultados y Discusión**

### **4.1. Fase I. Caracterización fisicoquímica de composta y sus fracciones líquidas**

La materia prima de la composta partió del sustrato agotado del cultivo de champiñón por lo que presenta un contenido importante de materia orgánica (44.5 %) (Cuadro 5). Las variantes de esta composta obtenida fue un extracto de composta (22.85%) y té de lombriz (3.82%), que presentaron un contenido nada despreciable de materia orgánica a excepción de éste último (té de lombriz) que presentó casi 10 veces menos % de materia orgánica comparado con la composta sólida de champiñón. Estos valores indican que el contenido de materia orgánica es considerable y pudiera enriquecer el suelo mejorando la estructura del mismo. Dentro de la determinación de materia orgánica es importante tomar en consideración el carbono orgánico (CO), pues éste es el que influye en la relación C:N (Tan y Lal, 2005). La relación C:N varía según los diferentes materiales usados en el proceso de compostaje. El valor de esta relación decrece según avanza el proceso de compostaje, por lo que es importante como indicador de la evolución del proceso, ya que refleja el estado de los materiales que se están compostando (Figuroa *et al.*, 2012). La relación C:N de una composta ya madura en promedio se acerca a 10:1 (Perdomo y Barbazán, 2013).



La conductividad eléctrica es una medida de concentración de sales solubles en la fase líquida de las compostas y ha servido como criterio de calidad ampliamente usado en abonos orgánicos. En el caso de las compostas el rango de conductividad eléctrica está entre 0.1 y 10 dS/m (Hashemimajd *et al.*, 2012). Para el caso de la composta a base de champiñón y sus variantes, coinciden con estos valores. Sin embargo, la composta sólida presentó por lo menos 4 unidades más por arriba del nivel máximo mencionado, indicando que esta enriquecida con compuestos adecuados para la producción vegetal.

Cuadro 5. Caracterización fisicoquímica de la composta a base de champiñón y sus variantes como té de lombriz y extracto de composta.

	Composta	Té de Lombriz	Extracto de composta
Materia Orgánica (%)	44.50	3.82	22.85
Relacion C/N	25:1	2:0.006	13:0.1
Humedad (%)	30.00	-	-
pH	7.15	7.43	7.48
Conductividad electrica (dS/m)	14.40	10.10	9.16
Cenizas (%)	62.99	1.89	6.53
Carbono Orgánico (%)	25.81	2.22	13.25
Densidad aparente (g/mL)	0.67	1.01	1.04

#### 4.1.1. Composición mineral de la composta y sus fracciones líquidas

Las propiedades minerales en una composta madura dependerá de las materias primas sometidas a descomposición (Manios, 2004). La composición mineral de la composta y sus variantes té de lombriz y extracto de composta se presentan en el Cuadro 6. El contenido de N de la composta sólida presento 1.5%, valor que se acerca a lo reportado por Widman *et al.* (2005) estando solo un par de décimas por arriba de su resultado. Por su parte, Ochoa-Martínez *et al.*, 2009

reportaron el contenido de N en composta sólida y extracto de composta, presentando 0.97% y 0.0219%, respectivamente. El fósforo, comparado con los trabajos antes mencionados de Widman *et al.*, 2005 y Ochoa-Martínez *et al.*, 2009, estuvieron por arriba de lo reportado cerca de un doble en contenido de P. Lo que convierte a la composta y sus variantes en una alternativa de aplicación como fuente de P.

Cuadro 6. Composición mineral de la composta a base de champiñón y sus variantes como té de lombriz y extracto de composta

	Composta	Té de Lombriz	Extracto de composta
Nitrógeno (%)	1.5	0.006	0.1
Fósforo (%)	0.85	0.3	0.42
Potasio (%)	1.35	0.1	0.28
Calcio (%)	7.5	0.69	0.42
Magnesio (%)	0.7	0.04	0.11
Cobre (ppm)	280	43.75	260
Fierro (ppm)	2600	263.75	2390
Manganeso (ppm)	3800	12.5	350

#### 4.1.2. Valoración microbiológica de té de lombriz y extracto de composta

El contenido de microorganismos de las variantes de la composta sólida a base de residuos del cultivo de champiñón se presenta en el Cuadro 7. En el caso de los heterótrofos aerobios del té de lombriz, se encontró una concentración de  $1.44 \times 10^9$  UFC/ml, siendo esta una concentración alta y a la vez deseable para la estimulación de las plantas a las cuales se les podría adicionar, que incluyen a *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Actinomicetos*, además de hongos (Ingham,

2006). En el caso de *Pseudomonas* los valores encontrados fueron de  $1.54 \times 10^9$ , para Actinomicetos de  $7.1 \times 10^6$  y hongos y levaduras de  $6.1 \times 10^5$  todas en UFC/ml.

Por su parte, el extracto de composta presentó menores cantidades de UFC/mL para todos los microorganismos evaluados, sin embargo cabe mencionar que si mostro una cantidad importante de hongos y levaduras. No obstante, en ambos casos té de lombriz y extracto de composta se mostró la sanidad deseable puesto que la presencia de *Salmonella* y *E. coli* fue nula.

Nagavallema *et al.* (2004), encontraron que la concentración de microorganismos del tipo de los hongos y levaduras en vermicomposta producido con residuos vegetales diversos y estiércol vacuno fue de  $8 \times 10^4$  UFC/g, de bacterias de  $5.4 \times 10^7$  UFC/g y de actinomicetos de  $1 \times 10^4$  UFC/g. Por otro lado, Meenatchi (2008), encontró una carga microbiana en extractos líquidos de vermicomposta o lixiviado, obtenidas de diferentes combinaciones de materiales y con dos tipos diferentes de especies de lombrices (*P. excavatus* y *E. eugeniae*) una población bacteriana desde  $5 \times 10^6$  hasta  $6.7 \times 10^8$  UFCM/mL, población fúngica desde  $1 \times 10^3$  hasta  $1 \times 10^4$  UFC/mL y población de actinomicetos desde  $2 \times 10^3$  hasta  $1.3 \times 10^4$  UFC/mL. De igual que con el estudio anterior, se obtuvieron poblaciones mayores en los tres casos de poblaciones microbianas con el té de lombriz. Sin embargo estos resultados no distan mucho de los obtenidos en el extracto de composta.

Cuadro 7. Valoración microbiológica del té de lombriz y extracto de composta a base de champiñón.

	Té de lombriz	Extracto de composta
	UFC/mL	
Heterótrofos aerobios	1.44X10 <sup>9</sup>	4.32X10 <sup>6</sup>
Heterótrofos anaerobios	1.59X10 <sup>6</sup>	7.8X10 <sup>5</sup>
Pseudomonas	1.54X10 <sup>9</sup>	3.5X10 <sup>4</sup>
Actinomicetos	7.1X0 <sup>6</sup>	4.4X10 <sup>5</sup>
Hongos y Levaduras	6.1X10 <sup>5</sup>	2.9X10 <sup>6</sup>
<i>Salmonella</i>	NP	NP
<i>E. coli</i>	NP	NP

#### 4.2. Análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos

En el Cuadro 8 se muestran los resultados del análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos. La información obtenida a partir de este estudio es sumamente valiosa, pues en base a estos resultados se pueden hacer recomendaciones sobre las necesidades del suelo y las dosis de aplicación del nutriente que resulte deficiente. Se puede observar que el suelo contiene un 1.04% de materia orgánica. Una humedad de aproximadamente un 15% lo que indica que para este tipo de suelo arcilloso provee de agua disponible para la planta. El pH del suelo es ligeramente alcalino. Posee una buena conductividad eléctrica de manera que los suelos aceptables para el crecimiento de cultivos oscila alrededor de 0 a 1.5 dS m<sup>-1</sup>., por lo que el 0.488 dS m<sup>-1</sup> del suelo trabajado en este caso cabe dentro del rango publicado en el manual de *The Test Methods for the Examination of Composting and Compost* de la USDA. En cuanto a la disponibilidad de minerales del suelo, se cuenta con una composición aceptable para la aplicación de cultivos en el mismo.

Cuadro 8. Propiedades fisicoquímicas del suelo previo a la aplicación de los tratamientos

<b>Propiedades fisicoquímicas del suelo</b>	
Materia Orgánica (%)	1.04
Humedad (%)	14.77
pH	7.22
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.488
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	32.25
Densidad aparente (g/mL)	1.06
Nitrógeno (%)	1.63
Fósforo (%)	0.4
Potasio (%)	1.58
Calcio (%)	1.08
Magnesio (%)	0.44
Cobre (ppm)	157.6
Hierro (ppm)	1699.45
Manganeso (ppm)	236.41

La materia orgánica del suelo es fuente importante de N, P, K. Así mismo, la MO mejora las propiedades físicas del suelo entre ellas la estructura, porosidad, consistencia y capacidad de retención de humedad; así como también incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Blanco-Sandoval, 2003).

#### **4.3. Fase II. Evaluación de la aplicación de la composta y sus fracciones líquidas sobre el cultivo de tomate.**

##### **4.3.1. Etapa 1. Efecto de los tratamientos sobre el suelo y parámetros biométricos, de rendimiento y nutrimentales de la planta.**

En el Cuadro 9 se presenta el efecto de los tratamientos a base de composta y sus variantes té de lombriz y extracto de composta en las propiedades fisicoquímicas del suelo. La materia orgánica se mantuvo en un rango de 1 a 1.5%. Se alcanza a percibir que los tratamientos ayudaron a incrementar los porcentajes de MO en la mayoría de los casos. El T4E1, alcanzó 1.34% de MO

probablemente se deba a que ese tratamiento tenía la concentración más elevada de composta sólida aplicada en presiembra, considerando que la composta a base de residuos del cultivo de champiñón esta rica en MO (44.5%). El T3E2 fue el más alto en MO (1.56%), se asume que esta combinación enriqueció al suelo en forma representativa. Caso similar al T3E3, donde se hace una combinación entre extracto de composta y té de lombriz.

Cuadro 9. Efecto de los tratamientos a base de composta y sus variantes te de lombriz y extracto de composta en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Tratamientos	Materia orgánica (%)	Humedad (%)	pH	Conductividad Eléctrica (dS/m)	CIC (meq/100 g)
T1E1	1.04	9.66	7.2	7.61	33.28
T2E1	1.07	6.95	7.27	4.69	34.26
T3E1	1.30	9.21	7.2	4.24	35.09
T4E1	1.39	9.30	7.2	5.27	32.58
T1E2	1.23	10.75	7.2	4.01	34.92
T2E2	1.15	9.55	7.1	5.35	33.66
T3E2	1.56	10.49	7.1	6.17	33.03
T4E2	1.40	9.05	7.1	5.43	36.20
T1E3	1.31	8.98	7.1	3.12	31.11
T2E3	1.24	9.89	7.2	1.95	33.45
T3E3	1.52	9.54	7.2	3.51	34.56
T4E3	1.41	9.68	7.2	2.83	32.90
T5E3	1.00	10.85	7.2	3.65	34.08
T6E3	1.48	15.10	7.2	3.00	34.20

La humedad de los suelos mucho depende de su textura. Para suelos arcillosos como en este caso, la disponibilidad del agua aparece cuando la humedad del suelo se encuentra entre un 15 y 30%, según Dorronsoro, 2007. Sin embargo en trabajos reportados por Torrán (2007), se obtuvieron porcentajes de humedad muy similares a los presentados en el presente trabajo. En todos los tratamientos la humedad se reportó entre un 7 y 15%. No obstante, la mayoría de los tratamientos que presentaron niveles más altos de humedad, fueron aquellos tratamientos con un mayor porcentaje de MO. Puesto que hay una estrecha relación entre los suelos ricos en materia orgánica por su mayor capacidad de retener humedad (Sullivan, 2007).

El pH se mantuvo ligeramente alcalino desde un inicio, inclusive previo al experimento los análisis de suelo indican una leve alcalinidad del block 1107 del Valle del Yaqui. La conductividad eléctrica, incrementó notablemente. Hashemimajd et al., (2012) menciona que la conductividad eléctrica para compostas oscila entre 0.1-10.0 dS/m. Particularmente, en las muestras de suelo analizadas los valores estuvieron dentro del rango mencionado por Hashemimajd. Sin embargo, según la clasificación que maneja la NOM-021-SEMARNAT-2000 agrupa los valores entre 2 y 6 dS/m como suelos de moderadamente salinos a

suelos salinos. Cabe mencionar, que la técnica por la que se ha realizado la medición de conductividad eléctrica fue la propuesta por la Norma y hace un conteo general de los cationes y aniones presentes en la pasta de saturación. Sería conveniente hacer pruebas de cationes y aniones solubles para determinar de forma cualitativa la composición de la pasta saturada, y así comprobar que los niveles altos de conductividad eléctrica no solo hacen referencia a la presencia de sales, sino de otros elementos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) previo al trasplante fue de 32.25 meq/100 g de suelo seco. Se puede apreciar que la mayoría de los tratamientos superó esta cifra. Por lo tanto, un suelo con una elevada capacidad de intercambio catiónico generalmente aporta más minerales a las raíces (Tain y Zeiger, 2006). La materia orgánica posee cargas negativas en la superficie de sus partículas, que al estar en contacto directo con el suelo se une a los cationes como el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ). Esto hace que no se pierdan fácilmente por lixiviación, proporcionando una reserva de nutrientes a la planta (Escobar, 2009). De acuerdo a lo anterior, los tratamientos que presentaron niveles superiores de MO, reportaron buenos niveles de CIC.

El Cuadro 10 presenta los resultados de algunas variables biométricas como la altura donde las plantas de tomate var Prolyco no presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el experimento 1 a los 90 ddt bajo condiciones de invernadero. Los tratamientos T2E2, T3E2 y T4E2; fueron iguales estadísticamente estando muy por encima del testigo siendo el T1E1 quien no respondió de manera favorecedora al tratamiento, probablemente se deba a que el té de lombriz presentó niveles muy bajos de nutrientes según su composición de mineral. El experimento 3, todos los tratamientos superaron al testigo siendo el T2E3 el más significativo.

Cuadro 10. Parámetros biométricos de plantas de tomate cv prolyco a 90 ddt bajo condiciones de invernadero



Tratamientos	Altura (cm)	Clorofila (UC)	Número de frutos	Rendimiento (g/planta)
Testigo	62a	35.2a	19a	744a
T2E1	72a	37.7a	29a	847a
T3E1	73a	40.6a	27a	853a
T4E1	57a	32.8a	7a	182a
Testigo	62b	35.2b	19a	744a
T1E2	44c	26.1c	15a	196a
T2E2	98a	44.8b	34a	1050a
T3E2	90a	45.1b	20a	679a
T4E2	96a	47.7a	43a	1181a
Testigo	62c	35.2a	19a	744a
T1E3	99b	45.2a	14a	304a
T2E3	112a	42.9a	26a	650a
T3E3	67b	30.7a	30a	916a
T4E3	69b	29.1a	21a	631a
T5E3	91b	36.7a	28a	378a
T6E3	70b	31.1a	25a	582a

Los valores de clorofila se mantuvieron en promedio general en 37.29 UC. Siendo el T4E2, quien presentó un contenido de clorofila mayor con 47.71 UC, resultando el más significativo. En los experimentos 1 y 3 no hubo diferencia significativa y los valores oscilaron entre 30 y 45 UC. Se sabe que hay un incremento en la clorofila durante el crecimiento de la planta (González, 2009). Sin embargo, durante el desarrollo de este trabajo no se alcanzó a percibir algún cambio notable en el incremento del pigmento. Probablemente, este relacionado con el estrés por bajas temperaturas que presentó el cultivo. La planta que normalmente crece a temperaturas cálidas (25-35 °C), cuando son enfriadas a menos de 10 °C se produce un daño por frío. El crecimiento se ralentiza, aparecen decoloraciones o lesiones foliares y las hojas parecen como si hubieran estado sumergidas en agua por mucho tiempo (Taiz y Zeiger, 2006). Lo anterior le da sustento a lo mencionado por Vázquez *et al* (2012), quien menciona que el incremento en pigmentos fotosintéticos puede llevar a un incremento en el vigor de la planta y consecuentemente incrementar la productividad.

El número de frutos obtenidos por tratamiento en los tres experimentos, no se presentaron diferencias significativas en ninguno de los casos; sin embargo, el T4E2 fue quien presentó mayor cantidad de frutos respecto al testigo. No obstante, cabe mencionar que una de las afecciones del estrés por frío muestra inhibición de la fotosíntesis, al bajar los niveles de fotosíntesis hay una reducción del transporte de carbohidratos, menor intensidad de respiración, inhibición de la síntesis de proteínas existentes y por ende, la producción se ve seriamente comprometida (Russell y Morris, 1983; Taiz y Zeiger, 2006).

En cuanto al rendimiento, no hubo diferencias significativas en ninguno de los experimentos. Sin embargo, el T4E2 resultó con mayor productividad generando 1,181 g de fruta por planta; es decir, un 50% adicional comparado con el testigo aproximadamente. De la Cruz *et al.* (2009), evaluaron la producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato y obtuvieron buenos rendimientos y calidad de producto. Así mismo, Ochoa-Martínez *et al.* (2009), reportaron la producción de tomate en invernadero bajo la aplicación de té de composta como fertilizante orgánico, concluyendo que éstos tratamientos aportaron los requerimientos nutrimentales para el cultivo. Por su parte Velasco-Velasco *et al.* (2001), estudiaron el efecto de la adición de vermicomposta sobre la producción de tomate, reportando al final que la vermicomposta puede ser una alternativa para la producción orgánica de tomate.

El contenido nutrimental en etapa de floración se presenta en el Cuadro 11. Se puede observar bajos niveles de N y Ca principalmente. Sin embargo, no presentó deficiencia en la asimilación de P y K, a excepción del testigo T1E1, y los tratamientos T2E1 y T1E2, que estuvieron ligeramente por debajo del rango mínimo. En cuanto a los micronutrientes analizados, cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn), estuvieron en manera general dentro de los rangos de suficiencia reportados para tomate en etapa de floración específicamente (Benton, 1991).

Para el caso de la asimilación del N, este es el elemento más limitativo en casi todos los suelos, es un elemento muy dinámico que entra y sale del sistema de varias maneras, las plantas lo absorben principalmente en forma de nitrato y

amonio, y se encuentra en éstas cumpliendo importantes funciones biológicas y bioquímicas (Coraspe *et al.*, 2009). Por su parte, el calcio es un nutriente secundario que es requerido en menor proporción que el N pero resulta esencial en las funciones normales de la membrana celular (Díaz *et al.*, 2007). El Ca actúa como aglutinador en forma de pectato de calcio, estabilizando la estructura y permeabilidad de la pared celular, por lo que es de gran importancia en la conservación de la firmeza de los frutos, así como también de la elongación y división celular (Lozano *et al.*, 1995).

De ahí la importancia, en mantener un buen abastecimiento de N y Ca a la planta por lo que se recomienda elevar la dosis de aplicación de composta y sus variantes para tener una mayor disponibilidad de estos minerales.

Cuadro 11. Contenido nutrimental en etapa de floración del cultivo de tomate vr Prolyco bajo condiciones de invernadero.

TRATAMIENTO	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn
			%				ppm	
T1E1	1.30	1.07	4.73	0.71	0.26	133.96	51.22	47.28
T2E1	0.86	1.00	3.54	0.77	0.45	125.89	118.02	31.47
T3E1	0.89	0.74	7.12	0.78	0.41	150.26	134.44	63.27
T4E1	1.10	1.23	7.13	0.73	0.41	122.82	79.24	23.77
T1E2	1.10	0.92	4.35	0.74	0.46	110.85	87.09	15.84
T2E3	1.07	0.77	8.35	0.82	0.38	131.16	166.93	39.75
T3E3	0.77	0.45	5.54	0.75	0.50	114.81	118.76	31.67
T4E2	1.21	0.42	6.30	0.82	0.35	59.10	118.20	31.52
T1E3	1.49	0.52	9.15	0.48	0.27	111.33	238.57	55.67
T2E3	1.29	0.46	5.10	0.66	0.34	117.69	109.85	23.54
T3E3	1.72	0.49	8.31	0.76	0.30	126.58	142.41	47.47
T4E3	1.46	0.46	7.52	0.84	0.34	134.65	158.42	55.45
T5E3	1.27	0.70	5.51	0.77	0.31	98.46	126.03	7.88
T6E3	1.48	0.91	7.08	0.78	0.31	102.32	141.68	15.74
Referencia	3.0-4.0	0.4-1.0	5-9	1.5-2.4	0.32-0.8	5-50	60-300	20-250

Después de 90 ddt, el contenido de N se mantuvo bajo desde el inicio en la etapa de floración (Cuadro 12). El P aumentó al término del ciclo, probablemente debido a que la composta presenta niveles considerables de este elemento, más la solubilización de este elemento por los microorganismos presentes en la misma; por su parte el K disminuyó su contenido en las hojas al final de ciclo. Es posible que esta baja en K se deba a que la planta hizo uso de este nutriente en la etapa

de floración en mayores cantidades, ya que es a partir de esta etapa donde empieza a demandar más nutrientes pues la planta lleva a cabo diferentes funciones que demandan más energía. El K no parece tener función estructural en las plantas, pero desempeña numerosos papeles catalíticos, de manera que este elemento es muy importante en todo el metabolismo de las plantas (Bidwell, 1990).

El contenido de Ca y Mg al final del ciclo, presento bajas en sus niveles al paso de 90 ddt. Cabe la posibilidad de que estos minerales no fueron suministrados dentro del programa de nutrición, y por lo tanto la planta solo tomaba de lo que había disponible en el suelo y de lo que aportaba la composta y sus variantes: té de lombriz y extracto de composta. Cabe mencionar que la composta no contaba con los niveles suficientes de Ca y Mg para sobrellevar la nutrición de la planta. En lo que respecta a los micronutrientes, estos resultaron elevados en comparación con el análisis anterior realizado en la etapa de floración. Es importante mencionar, que a partir de la tercer semana de haber sido trasplantado el tomate, se realizaron dos aplicaciones de elementos menores vía foliar, con una frecuencia de 10 días. Por lo que es probable que el análisis de los microelementos se haya visto influenciado por la toma de muestra que se dio en días posteriores a la aplicación.

Cabrera *et al.* (2007), tuvo un comportamiento similar en el desbalance nutrimental que representó un efecto sobre la producción de tomate bajo condiciones de cultivo protegido. Cristobal *et al.* (2001), también detectaron desbalances nutrimentales en raíces y hojas de tomate, sin embargo este comportamiento se explica en parte a la alteración que sufrió parte de la raíz producida por un patógeno.

Cuadro 12. Contenido nutrimental a 90 ddt del cultivo de tomate var Prolyco bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	N	P	K %	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn ppm	Zn
T1E1	0.09	1.77	3.35	0.58	0.16	2954	502	551	102
T2E1	0.14	1.79	5.52	0.68	0.07	1810	960	266	68
T3E1	0.16	1.87	4.72	0.39	0.16	1661	993	209	73
T4E1	0.17	1.8	4.79	0.74	0.09	2393	1096	558	56
T1E2	0.11	1.58	5.99	0.41	0.24	2746	923	280	76
T2E2	0.14	1.61	4.20	0.45	0.23	1999	956	240	112
T3E2	0.17	1.72	4.40	0.19	0.31	2548	1135	440	76
T4E2	0.14	1.87	4.40	0.19	0.37	2647	1179	320	128
T1E3	0.19	1.04	3.79	0.53	0.18	2592	1148	279	175
T2E3	0.21	0.88	3.59	0.20	0.39	2097	763	240	184
T3E3	0.25	1.92	2.79	0.35	0.25	2343	654	319	171
T4E3	0.22	2.03	3.59	0.34	0.29	2545	575	479	72
T5E3	0.33	1.42	3.76	0.26	0.31	2471	640	633	130
T6E3	0.30	1.02	3.58	0.24	0.30	2483	1287	358	175

#### 4.3.2. Etapa 2. Desarrollo de la planta en respuesta a la aplicación de los tratamientos de composta y sus fracciones líquidas

La figura 2 presenta el comportamiento del desarrollo de la planta en la tasa relativa de crecimiento (TRC) de tomate cv Grandella en respuesta a los tratamientos a base de composta, té de lombriz y extracto de composta. El té de lombriz (T3) y la combinación de té de lombriz + extracto de composta, se mantuvieron al nivel de desarrollo comparado con el testigo convencional (T1). El extracto de composta (T4), presentó una ligera baja en la TRC de la planta comparada con T1, desarrollándose en promedio 1 cm por día los tratamientos T1, T3, T4 y T7 a los 70 ddt.

Durante los primeros 30 días podemos observar un incremento en el desarrollo de la planta; sin embargo, a partir de los 40 ddt empieza a darse la etapa de la floración por lo que la TRC empieza a disminuir su comportamiento conforme avanza el ciclo de vida de la planta. Esta disminución entre los 40 y 70 ddt, según Barraza (2000) puede manifestarse en términos del suministro y demanda en que

las sustancias para el crecimiento son traslocadas. El crecimiento de una parte de la planta consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministro adyacentes, estableciéndose un gradiente de concentración que parece producir automáticamente el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican sustancias, o que simplemente las ceden con la edad (Fogg, 1967).

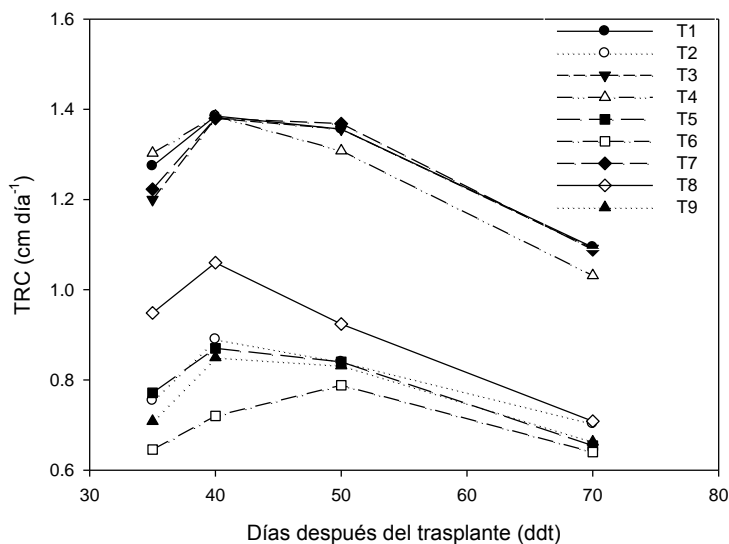


Figura 2. Efecto de los tratamientos a base de composta, té de lombriz y extracto de composta en la tasa relativa de crecimiento (TRC) en plantas de tomate cv Grandella.

La clorofila se estuvo monitoreando semana tras semana después de 20 ddt, tiempo considerado para que la planta se adapte a las condiciones del suelo. Los datos colectados entre la semana 3 y 7 se pueden observar el en cuadro 13. Se observó un valor mínimo de 43.56 y un máximo de 54.50 de unidades de clorofila (UC). En la semana 3, el tratamiento a base de composta sólida, fue más significativo comparado con el resto de los tratamientos. Sin embargo para la semana 4, los niveles de clorofila de los tratamientos en combinación con composta sólida y las fracciones líquidas: té de lombriz y extracto de composta (T5, T6 y T8) se vieron incrementados significativamente. Posteriormente, en las

siguientes semanas 5, 6 y 7, este orden de comportamiento se mantuvo; siendo el tratamiento de composta sólida + extracto de composta (T6) quien no bajo de las 50 UC. Rodriguez *et al.* (1998), reportan en su trabajo que plantas de tomate a 45 ddt presentan valores de clorofila de 56.11 UC, valores muy similares a los obtenidos en el presente trabajo. También en dicho trabajo hacen una alta correlación entre el contenido de clorofila y el nitrógeno total en etapa de floración. Lo que indica que el N tiene una relación directa con las unidades clorofilas; es decir, a medida que las unidades clorofila estén alrededor de las 50 UC se espera tener un buen rendimiento (Sainz y Echeverría, 1998).

Cuadro 13. Efecto de los tratamientos de composta, té de lombriz y extracto de composta y sus variantes en respuesta en el contenido de clorofila de la planta de tomate cv grandella a 70 ddt.

Tratamientos	Clorofila (UC)				
	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7
T1	49.56 abcde	52.48 ab	47.66 ab	44.78 cd	47.32 cd
T2	52.66 a	53.08 ab	48.32 ab	47.78 bcd	49.30 abc
T3	47.14 cde	48.38 b	49.44 ab	43.56 d	47.40 cd
T4	46.86 de	52.18 ab	46.50 ab	48.38 abc	43.50 d
T5	52.42 ab	54.50 a	51.30 ab	48.48 abc	54.86 a
T6	50.64 abcd	53.44 a	50.20 ab	52.08 ab	51.22 ab
T7	46.00 e	50.44 ab	45.62 b	47.04 cd	47.12 cd
T8	50.72 abc	53.30 a	52.22 a	48.16 abc	51.76 ab
T9	48.62 bcde	52.26 ab	51.66 ab	52.36 a	49.84 abc

El cuadro 14 muestra el efecto de los tratamientos a base de composta y sus fracciones líquidas: té de lombriz y extracto de composta en el rendimiento como materia seca en hojas y tallo (parte aérea de la planta) y raíz; así como peso volumétrico y longitud de raíz. El peso seco aéreo no mostró diferencia significativa en ninguno de los tratamientos, mientras que los valores estuvieron oscilando entre los 40.88 y 47.96 g. La humedad de la parte aérea de la planta

tuvo una media de 75%, siendo los más significativos estadísticamente el testigo convencional, el tratamiento de composta (T1) y el tratamiento en combinación de composta + extracto (T6).

La longitud de la raíz se vio realmente favorecida con la aplicación de la composta sólida en la preseembra (T2), se obtuvo una raíz de 71.4 cm de largo. Sin embargo, el tratamiento a base de únicamente té de lombriz (T3) presentó una raíz con longitud de 56.4 cm, cerca de un 20% menos de largo de raíz pero con mayor peso seco que el T2. El T3 fue altamente significativo en peso seco de raíz, estando por encima del testigo en poco más del doble en peso. El peso volumétrico de T3, nuevamente fue significativo estadísticamente desplazando la raíz el mayor volumen, seguido de los tratamientos T5 y T6 mismos que consisten en una combinación de composta sólida + té de lombriz, y composta + extracto, respectivamente.

Cuadro 14. Efecto de los tratamientos a base de composta y sus fracciones líquidas en el peso seco aéreo y de raíz, longitud de raíz y peso volumetrico de raíz en plantas de tomate cv grandella.

Tratamientos	Peso Aéreo Seco (g)	Contenido de Humedad Aérea (%)	Longitud de raíz (cm)	Peso Seco de Raíz (g)	Volmen de Raíz (mL)
T1	41.34a	82.26a	50.4b	5.48e	52b
T2	47.96a	83.66a	71.4a	8.2bc	68b
T3	44.32a	78.85b	56.4b	12.16a	90a
T4	42.12a	80.28b	39.8c	3.2g	36c
T5	47.82a	60.73c	48.5b	2.5g	82a
T6	42.64a	83.08a	61.2b	6.26d	86a
T7	41.66a	73.34b	48.2c	8.98b	68b
T8	45.32a	69.87b	59.4b	4.12f	56b
T9	40.88a	65.52b	48.4b	3.98f	36c



El contenido de nitrógeno (N) en plantas de tomate en etapa de floración debe oscilar entre 3 y 4% según lo cita Benton (1991). De manera general, la respuesta de la planta de tomate respondió favorablemente para todos los tratamientos (Cuadro 15). Cabe mencionar que el tratamiento de composta en combinación con el extracto (T6), superó en un 24% aproximadamente al testigo convencional presentando un 5.7 % de N.

En el caso de P, de igual forma la planta respondió positivamente a la aplicación de los tratamientos a base de composta y sus fracciones líquidas. No obstante, la aplicación de composta sólida (T2) en la presiembra que fue reincorporada al sustrato, estuvo por encima del testigo convencional doblando inclusive los niveles máximos de fósforo (P) presentes en el tejido de la planta en esta etapa fenológica. El mismo caso se presentó para los tratamientos T4, T8 y T9, donde los niveles de P oscilaron alrededor del 2%.

El potasio (K) estuvo muy por arriba de los niveles máximos, superando el 9% de suficiencia según la referencia. El calcio (Ca), estuvo deficiente en todos los tratamientos. La demanda de calcio en plantas de tomate en etapa de floración aumenta (Nuño, 2007), por lo que es necesario cubrir los requerimientos de Ca con una aportación adicional del mineral en cuestión. La particularidad del Ca es que se trasporta casi exclusivamente con el flujo de la transpiración a lo largo del xilema, es principalmente distribuido desde las raíces hacia las hojas (Cardona *et al.*, 2005). El magnesio (Mg), se mantuvo en buenos niveles estando dentro del rango óptimo para esta etapa fenológica de floración.

Cuadro 15. Valoración nutrimental en hojas de planta de tomate en etapa de floración como efecto de la aplicación de composta y sus fracciones líquidas.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn
			%				ppm	
T1	4.59	1.57	11.58	0.86	0.30	113.81	74.57	624.02
T2	3.27	2.15	10.90	0.84	0.45	159.60	225.77	560.53
T3	3.91	1.66	5.83	0.63	0.35	108.86	147.74	419.91
T4	4.00	2.29	6.47	0.69	0.35	129.41	133.33	588.24
T5	4.54	1.43	10.62	0.84	0.32	94.38	43.26	519.07
T6	5.71	1.68	11.89	0.54	0.35	114.90	91.13	487.32
T7	3.37	1.13	9.85	1.04	0.28	106.38	110.32	492.51
T8	3.96	2.21	10.66	0.78	0.39	139.59	46.53	647.54
T9	4.37	2.39	12.20	0.67	0.31	165.35	59.06	397.64
Referencia	3.0-4.0	0.4-1.0	5-9	1.5-2.4	0.32-0.8	5-50	60-300	20-250

El cuadro 16, presenta el número de microorganismos por gramo de suelo seco (gss) presente en el sustrato tratado tras la aplicación de los diferentes tratamientos, que consistieron en composta sólida y sus fracciones líquidas. La mayor presencia de bacterias ( $10^8$ ) se presentó en los tratamientos a base de composta (T2), extracto de composta (T4) y una combinación de ambos, composta + extracto (T6). Por su parte las *Pseudomonas* fueron más evidentes en los tratamientos de composta (T2) y té de lombriz (T3) con  $2.05$  y  $2.47 \times 10^8$  No. de microorganismos/ gss, respectivamente. La presencia de hongos y levaduras en los tratamientos T2 y T3 fue mayor en comparación con el resto de los tratamientos. Cabe mencionar que el contenido inicial de estos microorganismos en el té de lombriz y extracto de composta fueron de excelente calidad, pues se mantuvieron dentro de los estándares de carga microbiológica establecidos por la USDA.

La función de los microorganismos en el suelo, especialmente la de algunos grupos definidos, puede ser manipulada para permitir que determinadas actividades microbianas, bioquímicas y enzimáticas se expresen de forma eficaz,

de allí que pueden jugar un papel preponderante como indicadores de calidad y salud de los suelos.

Las bacterias representan entre el 25 y 30% de la biomasa microbiana del suelo comportándose como los organismos más numerosos del suelo (entre  $10^6$  y  $10^7$  bacterias  $g^{-1}$  de suelo), mientras que los hongos, dado su mayor tamaño y presentando menor abundancia, evidencia la biomasa más significativa (Olalde y Aguilera, 1998). Los hongos poseen la mayor masa microbiana, alcanzan hasta un 80%, su presencia está sujeta a los tenores de M.O. (Gómez, 2000). Las *Pseudomonas* han demostrado una gran capacidad por parte de sus cepas de solubilizar las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo presente en el suelo y consecuentemente se han transformado en microorganismos de alta eficiencia solubilizadora de P (Frioni, 1999)

Cuadro 16. Número de microorganismos por gramo de suelo seco en el sustrato tras la aplicación de los diferentes tratamientos a base de composta sólida y sus fracciones líquidas como el té de lombriz y extracto de composta.

Tratamientos	No. de microorganismos/g de suelo seco		
	Bacterias	<i>Pseudomonas</i>	Hongos y Levaduras
T1	$9.67 \times 10^7$	$5.67 \times 10^6$	$1.33 \times 10^6$
T2	$2.21 \times 10^8$	$2.05 \times 10^8$	$5.00 \times 10^7$
T3	$5.00 \times 10^7$	$2.47 \times 10^8$	$7.74 \times 10^7$
T4	$1.34 \times 10^8$	$1.17 \times 10^7$	$3.33 \times 10^5$
T5	$1.00 \times 10^7$	$6.00 \times 10^7$	$1.00 \times 10^6$
T6	$4.57 \times 10^8$	$2.33 \times 10^6$	$5.00 \times 10^6$
T7	$2.63 \times 10^7$	$1.67 \times 10^6$	$1.67 \times 10^6$
T8	-	$1.93 \times 10^7$	$1.33 \times 10^6$
T9	-	$7.33 \times 10^6$	$1.67 \times 10^6$

El área foliar del tratamiento a base de extracto de composta (T4) fue el más significativo junto con el testigo convencional (T1), estando ligeramente por encima de éste. El resto de los tratamientos estuvieron por debajo del testigo entre un 20-50%, sobre todo los tratamientos de composta + extracto (T6) y la combinación de composta + té de lombriz + extracto (T8), quienes presentaron un área foliar menor (figura 3) a 70 ddt. Segura *et al.*,(2011) mostraron en su trabajo en plantas de tomate un área foliar de 1456.89 cm<sup>2</sup> a los 60 ddt, mientras que nuestra mayor área foliar se registró con 839.96 cm<sup>2</sup>. Sin embargo, Segura *et al.* 2000, sometieron a estrés hídrico a la planta obteniendo a los 60 ddt un área foliar de 756.12 cm<sup>2</sup>. Sirvansa (2000) indica que la falta de agua trae como consecuencia un desarrollo deficiente del área foliar. Por su parte, el estrés por altas temperaturas es uno de los principales factores que limitan el crecimiento en muchas especies de plantas. La supresión del crecimiento está relacionada con cambios en los procesos fisiológicos, a elevadas temperaturas, los niveles de determinadas enzimas pueden disminuir por un desequilibrio entre su velocidad de formación y su velocidad de degradación (Beppu y Kataoka, 1999).

Temperaturas superiores a los 30 °C, se favorece el cierre estomático. Aparentemente esto se debe a que con estas temperaturas se favorecen los procesos respiratorios más que los fotosintéticos, con los que la cantidad de CO<sub>2</sub> aumenta y se cierra el estoma. El incremento de las temperaturas por encima de los niveles normales para el desarrollo de las plantas ha provocado deformaciones en sus órganos reproductores logrando provocar abortos florales (Morales *et al.*, 2006).

El área foliar es un indicativo físico que determina la magnitud de la actividad fotosintética, que sirve para satisfacer la demanda de fotosintatos por los órganos en crecimiento del cultivo (Segura *et al.*, 2011). Sin embargo, cuando la planta se ve sometida a un tipo de estrés, la planta se expresa de distintas formas y el área foliar a ser frenada a cierta edad de las hojas, es un indicador fisiológico que está expresando dicho estrés. Ante lo mencionado, la respuesta de las plantas tras las elevadas temperaturas de los meses de mayo y junio, tuvieron un efecto negativo

en el área foliar de las plantas de tomate impidiendo su potencial de desarrollo y afectando severamente la etapa de floración.

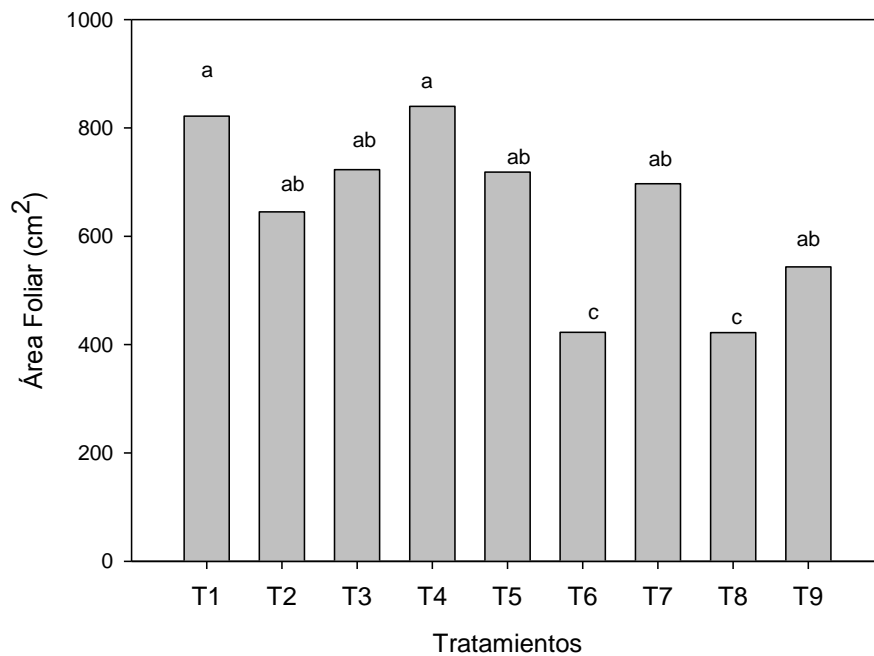


Figura 3. Efecto de los tratamientos a base de composta y sus fracciones líquidas en respuesta al área foliar de las plantas de tomate a 70 ddt.

## V. Conclusión

El efecto de los tratamientos tuvo una respuesta positiva como mejorador de suelo ya que aumentó el contenido de materia orgánica, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico en la mayoría de los casos.

El contenido de N se reportó bajo en los niveles para todos los casos, sin embargo estos valores superaron el testigo convencional del experimento de la etapa 1.

El N de la etapa 2, donde se trasplantó tomate en sustrato se mantuvo dentro de los rangos óptimos por lo que los tratamientos de composta como sus fracciones líquidas cumplen con los requerimientos nutricionales de la planta en condiciones de invernadero. Sin embargo cabe mencionar que el nutriente que es necesario suministrarlo de alguna fuente extra es el Ca., sobretodo en el inicio de la floración que es cuando aumenta la demanda de este nutriente en el cultivo de tomate.

En ambas etapas experimentales, los niveles de P se vieron considerablemente aumentados, por lo que la composta a base de champiñón contribuye con una cantidad importante de este mineral. Además dentro de las fracciones líquidas se cuenta con una población significativa de *Pseudomonas*, a quien se le puede atribuir la solubilización del P volviéndolo más disponible para las plantas.

La carga microbiana en el sustrato a los 70 ddt tras 10 aplicaciones semanales, favoreció la población benéfica, viéndose reflejada la actividad biológica en el desarrollo de las raíces. En especial el tratamiento a base de té de lombriz (T3), quien presentó una mejor respuesta con una longitud de raíz superior al testigo convencional.

Finalmente se concluye que la composta a base de residuos de champiñón y sus variantes: té de lombriz y extracto de composta, son una buena alternativa nutricional para la planta ya que contribuye a la disponibilidad de nutrientes en el

suelo. Sin embargo, se sugiere cuidar el manejo de la elaboración del extracto de composta y recircular más veces el té de lombriz para aumentar los niveles de N en las fracciones líquidas de la composta.

## VI. Referencias

- Acevedo, I. y Pire, R. 2004. Efectos de lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechosoero (*Carica papaya* L.). *Interciencia*. 29(5): 274-279.
- Aguirre-Medina, J.F.; Irizar-Garza, M.B.; Durán-Prado, A.; Grajeda-Cabrera, O.A.; Peña del Rio, M.A.; Loredó-Osti, C.; Gutiérrez-Baeza, A. 2009. Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Folleto Técnico. Núm 5. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Tuxtla Chico, Chiapas. Pp. 80.
- Aira, M. y Domínguez, J. 2008. Optimizing vermicomposting of animal wastes: effects of dose of manure application on carbon loss and microbial stabilization. *Journal of Environmental Management*. 88:1525-1529.
- Aira, M. y Domínguez, J. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*. Número Especial 2:385-395.
- Aira, M.; Monroy, F.; Domínguez, J. 2005. Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of *Aporrectodea caliginosa* (*Lumbricidae*). *Pedobiologia*. 49:467-473.
- Aira, M.; Monroy, F.; Domínguez, J.; Mato, S. 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*. 38:7-10.
- Alcántar, G.G. y M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Pp 156.
- American Public Health Association –APHA- 2004. *Environmental Microbiology. A Laboratory Manual*. Second Edition.
- Atiyech, R.; Lee, S.; Edwards, C.; Arancon, N.; Metzcer, J. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. *Bioresourcer Technology*. 84(1):7-14.
- Beppu, K. y Kataoka, I. 1999. High temperature rather than drought stress is responsible for the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. *Scientia Horticulturae*. 81: 125-134.
- Bardos, R.P. y Lopez-Real, J.P. 1991. The composting process: susceptible feedstocks, temperature, microbiology, sanitisation and decomposition. In: Bidlingmaier W. and L'Hermite P (eds). *Compost Processes in Waste Management*, European Community. Pp. 179-190.



Barraza, F.V. 2000. Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Pp 142.

Beck-Friis, B.; Smars, S.; Jonsson, H.; Kirchmann, H. 2001. Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 78(4):423-430.

Blanco, J. 2003. Manejo integral de suelos con énfasis al cultivo del arroz. Manual. PRONATTA. Bogota, Colombia. Pp. 129.

Browman, G. 1997. Steel in the Field—A farmer's guide to weed management tools. Sustainable Agriculture Network, USDA, National Agriculture Library, Beltsville, MD.

Bueno, M. 2003. Cómo hacer un buen compost. Manual para horticultores ecológicos. La fertilidad de la Tierra Ediciones. ISBN 9788493828912. Pp 170.

Cabrera, A., J. Arzuaga y M. Mojena. 2007. Desbalance nutrimental del suelo y efecto sobre el rendimiento del tomate (*Lycopersicon solanum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido. *Cultivos Tropicales*. 28: 91-97.

Capulín, G. J.; Núñez, R.E.; Etchevers, J.D.; Baca, G. A. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Revista Agrociencia*. 35:287-299.

Cardona, C.; Arjona, H. y Arméndaris, H. 2005. Influencia de la fertilización foliar con Ca sobre la pudrición apical en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agronomía Colombiana*. 23: 223-229.

Castrillón-Quintana, O.; Bedoya-Mejía, O.; Montoya-Martínez, D.V. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + Limpia*. 1(2):88-98.

Cerrato, M., H. Leblanc. y C. Kameko. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. *Revista Tierra Tropical*. 3:183-197.

Chapman, H. R. y Pratt, P. F. 1991. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas S. A de C. V. México, D. F. 195 pág.

Claassen, V.P. y Carey, J.L. 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util.* 12(2):145-152.

Cogger, C.G. 2001. Cómo hacer y usar el compost. Oregon State University. Extension Service Disponible en:

<http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/ec/ec1544-s-e.pdf> Revisado el 30 de octubre 2012.

Contreras, J; Acevedo, I. y Escalona, A. 2008. Efecto del vermicompost sobre el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica*). Rev. Unell. Cienc. Tec. 26:14-21.

Cook, R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el area de TLCAN. Departamento de Agricultura y Recursos Económicos. Universidad de California. Davis. Disponible en: <http://www.agecon.ucdavis.edu/aredepart/facultydocs/Cook/articles.phh> Revisado el 25 de octubre del 2012.

De la Cruz, L., M. Estrada. V. Robledo., R. Osorio., C. Márquez y R. Sanchez. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. Universidad y Ciencia. 25: 59-67.

De Lara, A. 2007. Compost Tea. In Organic Materials Management. California Disponible En: <http://Www.ciwmb.ca.gov/organics/compostmulch/composttea/default.Htm> Revisado el 02 de enero del 2011.

Defrieri, R.L.; Jiménez, M.P.; Effron, D.; Palma, M. 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. Agriscientia. 22(1):25-31.

Delate, K; Cambardella, C.; Taylor, K.; Burcham, B. 1999. Comparison of organic and conventional rotations at the Neely-Kinyon Long-Term Agroecological Research (LTAR) site: First year results. Leopold Center for Sustainable Agriculture Annual Report, Iowa State University, Ames, IA.

Dianéz, F.; Santos, M.; Boix, A.; De Cara, M.; Trillas, J.; Avilés, M.; Santos, J.C. 2006. Grape marc compost tea suppressiveness to plant pathogenic fungi: Role of siderophores. Compost Science and Utilization. 14(1):48-53.

Díaz, E. 2002. Guía de Lombricultura. Una alternativa de producción. La Rioja.

Dignac, M.F.; Houot, S.; Francou, C.; Derenne, S. 2005. Pyrolytic study of compost and waste organic matter. Organic Geochemistry. 36:1054-1071.

Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. pp. 401-424. In: C. A. Edwards (Ed.). Earthworm ecology, 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton.

Domínguez, J.; Gómez-Brandón, M.; Lazcano, C. 2010. Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. Acta Zoológica Mexicana. (n.s.) Número Especial 2:373-383.

- Dorronsoró. 2007. Introducción a la edafología. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema00/progr.htm> Consultado el 30 de junio 2013.
- Durán, L. y Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 31(1):41-51.
- Durán, L.; Henríquez, C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33(2):275-281.
- Edwards, C. A. y Burrows, I. 1988. The potencial of earthworm composts as plant growth media. Pp. 211-219. In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Edwards, C.A. y Bohlen, P.J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*. Chapman and Hall, London.
- Edwards, C.A.; Burrows, I.; Fletcher, K.E.; Jones, B.A. 1984. The use of earthworms for composting farm wasted. En: Gasser JKR (ed). *Composting of agricultural and other wastes*. Els. App. Sci. Publ. London. 241 pp.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*. 64:2002-2030.
- Escobar, H. y R. Lee. 2001. Producción de tomate bajo invernadero. Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales CIIA. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. pp. 113-117.
- FAO, 2011. *Organic Agriculture*. Revisado el 27 diciembre 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/organicag/en/>
- FAOSTAT. 2010. Consulta de base de datos de producción mundial de hortalizas. Revisado el 30 de julio 2012. Disponible en: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
- Fernández, L., P. Zalba., M. Gómez y M. Sagardoy. 2005. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Suelo*. 23:31-37.
- Figuroa, A., J. Álvarez., A. Forrero., C. Salamanca y L. Pinzón. 2012. Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios*. 17: 32-43.
- Finstein, M.S. y Morris, M.L. 1975. *Microbiology of municipal solid waste composting*. *Adv. Appl. Microbiol.* 19:113-151.

Flores, D. y Ford, M. 2010. México tomato annual area planted down but production up". Revisado el 25 Enero 2012. Disponible en <http://www.hortalizas.com/noticias/?storyid=2502>

Fogg, G.E. 1967. El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). 327 p.

Frioni, L. 1990. Ecología Microbiana del Suelo. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. p. 519.

Frioni, L. 1999. Procesos Microbianos. Tomo I. Editorial de la fundación Universidad Nacional del Río Cuarto. p. 250-255.

González, I; Arias, Y. y Peteira, B. 2009. Interacción planta-bacterias fitopatógenas: caso de estudio *Ralstonia solanacearum*-plantas hospedantes. Rev. Protección Veg. 24(2):69-80.

González-Salgado, M.E.; García-Calderón, N.E.; Almendros, G. 2010. Características estructurales de ácidos húmicos y su efecto en el cultivo de *tagetes erecta* L. en un suelo afectado por sales. Terra Latinoamericana. 8(1):27-33.

Gray, K. R. 1971. Review of composting II. The practical process. Biochemistry. 6:22-28.

Gutiérrez, M. A.; Santacruz, R. F.; Cabrera, P. J. L.; Rodríguez, G. B. 2003. Mejoramiento Vegetal in vitro. Revista digital Científica y Tecnológica e-Gnosis. Universidad de Guadalajara 1(4). Revisado el 08 de octubre 2011. Disponible en: [www.e-gnosis.udg.mx](http://www.e-gnosis.udg.mx)

Guzmán, N.I. (2007). The compost vegetal as an alternative to reduce yard wastes in the Sanitary Landfill System of Guayama. ProQuest Editores. Puerto Rico. 139 pp.

Hashemimajd, K., T. Mohamadi y S. Jamaati-e-Somarin. 2012. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. African Journal of Biotechnology. 11:1425-1434.

Haug, R. 1993. The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Nueva York.

Hernandez-Diaz, M.I. y Chailloux-Laffita, M. 2001. La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Temas de Ciencia y Tecnología. 5(13):11-27.

Hogan, J. 1998. Composting. Pp. 357-383. In: G. Lewandowski and L. De Filippi (ed.). Biological Treatment of Hazardous Wastes, New York, Estados Unidos.

Ingham, E. 2005. The compost Tea brewing Manual, 79 pp, Latest methods and research 5<sup>th</sup> ed. Soil Foodweb Incorporated, Oregon, USA.

Jaramillo, J.; Rodríguez, V.P.; Guzmán, M.; Zapata, M.; Rengifo, T. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas. Antioquia, Mana, Corpoica, Centro de Investigación "La Selva".

Khalid, M.; Shafiq, T.; Ahmed, S.; Ahmed, K. 2010. Effect on carbon nitrogen ratio, ammonia nitrogen in food waste composting using different techniques. World Environment. 5:149-156.

Kulcu, R., Yaldiz, O. 2007. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones a bulking agent. Bioresource Technology. 98:2700-2704.

Larkin, R. 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soilborne diseases of potato. Soil Biology and Biochemistry. 40:1341-1351.

Lavelle, P. y Spain, A. V. 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston.

López-Herrera, R.; López C. J.; Pérez-Jiménez. M.; Llobel, A.; Monte-Vázquez, E.; Zea-Bonilla, T. 1999. Estudios in vivo de *Trichoderma* como agente de biocontrol contra *Phytophthora cinnamomi* Y *Rosellinia necatrix* en aguacate. Revista Chapingo Serie Horticultura. 5:261-265.

Loredo-Osti, C.; Beltrán L.S.; Peña del Rio, A. 2007. Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. Folleto científico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental San Luis. 60 pág.

Lores, M., Gómez-Brandón, M.; Pérez-Díaz, D.; Domínguez, J. 2006. Using fame profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. Soil Biology and Biochemistry. 38:2993-2996.

Lugtenberg, B. y Kamilova, F. 2009. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. Annual Review of Microbiology. 63:541-556.

Lung, A.J.; Lin, C.M.; Kim, J.M.; Marshall, M.R.; Nordstedt, R.; Thompson, N.P.; Wei, C.I. 2001. Destruction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enteritidis* in cow manure composting. J. Food Prot. 64:1309-1314.

Manios, T. 2004. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. Environment International. 29: 1079-1089.

Márquez, H. C.; Cano, R. P. 2005. Producción Orgánica de Tomate Cherry Bajo Invernadero. Actas Portuguesas de Horticultura. 5:219-224.

Martínez, V. R. 2002. Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. XIII Congreso Científico INCA. La Habana, Cuba.

Matheus, J.E. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Bioagro*. 16(3):219:224.

Mayea, S.S. 1992. Tecnología para la producción de compost (biotierra) a partir de la inoculación con microorganismos de diversos restos vegetales. CIDA. MINAGRI. La Habana, Cuba. 22 pp.

Meenatchi, R. 2008. Molecular characterization of earthworms, nutrient assessment and use of vermitechnologies in pest management. Doctoral Thesis in Agricultural Entomology of the University of Agricultural Sciences, Dharwad, India. 104 pp.

Mejía, M. 1995. Agricultura para la vida: Movimientos Alternativos frente a la Agricultura Química. Cali, Colombia. Feriva Ltda. 248 pág.

Miller, F.C., 1996. Composting of municipal solid waste and its components. In: Palmisano, A.C., Barlaz, M.A. (Eds.), *Microbiology of Solid Waste*. CRC Press, Boca Raton, pp. 115–154.

Monroy, F.; Aira, M.; Domínguez, J. 2008. Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (*Oligochaeta*). *Applied Soil Ecology*. 39:127-132.

Morales-Munguía, J.C.; Fernandez-Ramirez, M.V.; Montiel-Cota, A.; Peralta-Beltran, B.C. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz *Eisenia foetida*. *Biocencia*. 11(1):19-26.

Morales, D.; Rodríguez, P.; Dell'Amico, J.; Torrecillas, A. y Sanchez, M. 2006. Efecto de las altas temperaturas en algunas variables de crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Amalia). *Cultivos Tropicales*. 27:45-48.

Moreno, R. A.; Zárate, T.; Valdés, P. M. T. L. 2005. Desarrollo de Tomate en sustrato de Vermicomposta/Arena Bajo Condiciones de Invernadero. *Agric. Téc.* 65:27-34.

Mukhtar, S.; Kalbasi, A.; Ahmed, A. 2004. Composting. National Agricultural Biosecurity Center, Kansas State University.

Munroe, G. 2007. Manual of On-farm Vermicomposting and Vermiculture. Pub. of Organic Agriculture Centre of Canada. 56 pp.

Mulholland, B.J.; Edmondson, R.N.; Fussell, M.; Basham, J.; Ho, L.C. 2003. Effects of high temperature on tomato summer fruit quality. *J. Hort. Sci. Biot.* 78(3):365-374

Nagavallema, K. P., Wani, S. P., Lacroix, S., Padmaja, V. V., Vineela, C., Babu, R. M., Sahrawat, K. L. 2004. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Team on Agroecosystems. Report no. 8, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 20 pp.

Nakkeeran, S.; Dilantha, W.G.; Siddiqui, A. 2005. PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Plant growth promoting rhizobacteria formulation and its scope in comercialization for the management of pests and diseases. Springer, Dordrecht, The Netherlands. Cap. 10. Pp 257-296.

Nieto-Garibay, A.; Murillo-Amador, B.; Troyo-Diéguéz, E.; Larrinaga-Mayoral, J.A.; García-Hernández, J.L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia.* 27(8):417-421.

NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de Lombriz (Lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana.que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio, muestreo y análisis.

Nuez, F. 2001. El cultivo del Tomate. Ediciones Mundiprensa. Primera Reimpresión. Barcelona, España. 793 p.

Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa., P. Cano., P. Preciado., A. Moreno y D. Rodríguez. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura.* 15:245-250.

Olalde, V.P., Aguilera, L.I . 1998. Microorganismos y Biodiversidad. *Terra.* 16(3): 289-292.

Oropeza, J. y Russian, T. 2008. Efect of the vermicompost, about the growth, In greenhouse of the orange "Criolla" it has tan enough three roostock. *Agronomia Trop.* 58(3):289-297.

Pandiarajan, G.; Balaiah, N.T.; Kumar, B.M. 2012. Exploration of different *Azospirillum* Strain from Various Crop Soils of Sivilliputtur Taluk. *Biofertilzas & Biopesticides.* 3:117.

Patriquin, D. G.; Baines, D; Abboud, A. 1995. Diseases, pests and soil fertility. In: H. F. Cook and H. C. Lee (Eds.). *Soil management in sustainable agriculture.* Wye College Press, Wye. Pp. 161-174.

Pineda-Rodríguez, J. A. 2006. Lombricultura. Instituto Hondureño del Café (IHCAFE). Tegucigalpa, Honduras. 38 pp.

Quintero-Lizaola, R.; Ferrera-Cerrato, R.; Etchevers-Barra, J.; García-Calderón, N.E.; Rodríguez-Kabana, R.; Alcántar-González, G.; Aguilar-González, G.; Aguilar-Santelises, A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra Latinoamericana*. 21(1):73-80.

Riegel, M. 2008. Té de compost, una nueva herramienta para revitalizar el potencial biológico del suelo. Universidad Católica de Valparaíso, Quilota, Chile.

Rodríguez, D.N.; Cano, R.P.; Figueroa, V.U.; Palomo, G.A.; Favela, C.; Álvarez R.V; Márquez, H.C.; Moreno, R.A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Méx.* 31(3):265-272.

Rodríguez-Dimas, N.; Cano-Ríos, P.; Favela-Chávez, E.; Figueroa-Viramontes, U.; Laúl-Alvarez, V.; Palomo-Gil, A.; Márquez-Hernández, C.; Moreno-Reséndez, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 13(2):185-192.

Rodríguez, M.; Alcántar, G.; Aguilar, A.; Etchevers, J. y Santizó, R. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*. 16:135-141.

Russell, C. R. y Morris, D. A. 1982. Invertase activity, soluble carbohydrate and inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mili.) *Ann. Bot.* 49:89-98.

Saavedra-González, M. 2007. Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida*. Tesis doctoral. Instituto de Biotecnología, Universidad de Granada. 243 pág.

SAGARPA, 2000. Elaboración de composta. Por Luis Torres Zedillo. Revisado el 30 de Octubre, 2012. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Elaboraci%C3%B3n%20de%20Composta.pdf>

Salazar-Sosa, E., Fortis-Hernández, M., Vázquez-Alarcón, A. Vázquez-Vázquez, C. 2003. Agricultura Orgánica. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED. ISBN: 968-6404-63-5. Pp 215.

San Martín-Hernandez, C.; Ordaz-Chaparro, V.; Sánchez-García, P.; Colinas-León, B.; Borges-Gómez, L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de Tezontle. *Agrociencia*. 46:243-254.



Santiago, J.; Mendoza, M.; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*. 9(1):59-65.

Santillana, N.; Arellano, C.; Zúñiga, D. 2005. PGPR of Rhizobium on *Lycopersicon esculentum* Miller (Tomato). *Ecología Aplicada*. 4(2):47-51.

Santillana-Villanueva, N. 2006 Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología Aplicada*. 5(2):87-91.

Segura, M.; Ramírez, A.; Legaspi, G.; Preciado, P.; García, J.; Yescas, P.; Fortis, M.; Orozco, A. y Montemayor, J. 2011. Desarrollo de plantas de tomate en sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17:25-31.

Schippers, B.; Bakker, A. W.; Bakker, A. H. M. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25:339-358.

Schuchardt, F. 2005. Composting of Organic Waste. *Environmental Biotechnology. Concepts and Applications*. Chapter 13. Edited H. J Jördening and J. Winter. Pp 333-354.

Sherman, R. 2003. Raising earthworms successfully. *Extension Soil Waste Specialist. Biological and Agricultural Engineering*. North Carolina State University, Raleigh, NC. Publicado por North Carolina Cooperative Extension Service. EBAE 103-83. Pp 26.

Sirvansa, R. 2000. Tolerance to water stress in tomato cultivars. *Photosynthetica*. 38:465-467.

Smith, S. R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal soil waste compost compared to sewage sludge. *Environment International*. 35:142-156.

Steger, K.; Jarvis, A.; Smars, S.; Sundh, I. 2003. Comparison of signature lipide methods to determine microbial community structure in compost. *Journal of Microbiological Methods*. 55:371-382.

Suler D.J. y Finstein, M. S. 1977. Effect of temperature, Aeration, and Moisture on CO<sub>2</sub> Formation in Bench-Scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 33(2):345.

Sullivan, P. 2007. El manejo sostenible de suelos. Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible. Disponible en: [www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf](http://www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf)

Sztern, D.; Pravia, M. 1999. Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud y

Organización Mundial de la Salud. Revisada el 30 de Agosto 2012. Disponible en: [www.ops.org.uy/pdf.compost](http://www.ops.org.uy/pdf.compost)

Taiwo L. B. y Oso, B. A. 2004. Influence of composting techniques on microbial succession, temperature and pH in a composting municipal solid waste. *African Journal of Biotechnology*. 3(4):239-243.

Tan, Z. y R. Lal. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 111:140-152.

Terry-Alfonso, E; Leyva, A; Hernández, A. 2005. Beneficial microorganisms as efficient biofertilizers for tomatoe crops (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista Colomb. Biotecnol.* 7(2):47-54.

Toro, M.; Bazó, I.; López, M. 2008. Arbuscular mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria, biofertilizers from sustainable agricultural systems. *Agronomía Trop.* 58(3):215-221.

Torrán, E. 2007. Impacto de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* sobre el contenido de humedad del suelo. Análisis de un caso en el Noroeste de la Provincia de Entre Ríos. Tesis de Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay. Pp. 113.

Trois, C. y Polster, A. 2007. Effective pine bark composting with the Dome Aeration Technology. *Waste Management*. 27:96-105.

Tsutomu, A.; Hideki, T.; Motoichiro, K.; Tohru, T. 2007. Tomato as a model plant for plant-pathogen interactions. *Plant Biotechnol.* 24:135-147.

USDA Forgein Agricultural Service. GAIN Report Numer MX1044. Disponible en: [www.mexico-usda.com](http://www.mexico-usda.com) Revisado el 27 de mayo del 2011.

Vázquez, A., S. Jiménez., I. Torres., I. Anaya., H. Mendoza y R. Guevara. 2012. Comportamiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) asperjadas con ácido salicílico cultivadas bajo diferentes condiciones climáticas en invernadero. División de Estudios de Posgrado, C.A. Ciencia. Universidad de Querétaro. 5(1): 1-9.

Velasco, J., R. Ferrera y J. Almaraz. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *azospilillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra Latinoamericana*. 19: 241-248.

Vernimmen, R., H. Verhoefa., J. Verstratenb., L. Bruijnzeela., N. Klompa., H. Zoomera y P. Wartenbergh. 2007. Nitrogen mineralization, nitrification and denitrification potential in contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 2992-3003.

Villa-Briones, A.; Zavaleta-Mejía, E.; Vargas-Hernández, M.; Gómez-Rodríguez, O.; Ramírez-Alarcón, S. 2008. Incorporación de vermicomposta para el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura. 14(3):249-255.

Widman-Aguayo, F.; Herrera-Rodríguez, F.; Cabanas-Vargas, D. 2005. El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. Ingeniería. 9(3):31-38.

Zamora-Nahum, S.; Markovitch, O.; Tarchitzky, J.; Chen, Y. (2005). Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. Soil Biology & Biochemistry. 37:2109-2116.

Zaragoza-Lira, P.; Preciado-Rangel, U.; Figueroa-Viramontes, J.L.; García-Hernández, M.; Fortis-Hernández, M.A.; Segura-Castruita, A.; Lagarda-Murrieta, E. 2011. Aplicación de composta en la producción de nogal pecanero. Revista Chapingo serie Horticultura. 17:33-37.

Zavaleta-Mejía, E.; Rojas, R.I.; Ochoa, D. L. 2003. Incorporación de Materia Orgánica al Suelo (Modificadores Orgánicos). In: Manejo Ecológico De Enfermedades. (Eds.) Colegio De Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Montecillo, México. Pp. 26-37.

Zeiger, E. y L. Taiz. 2006. Fisiología Vegetal. Ed. Studia Humanitatis Inc. Pp. 1160.

*“Efecto de la aplicación de Champosta y sus derivados en la producción de tomate en invernadero”*, se terminó de editar en la Oficina de Producción de Obras Literarias y Científicas en Noviembre de 2013.

La misma fue puesta en línea en la página: [www.itson.mx/publicaciones](http://www.itson.mx/publicaciones)



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender