



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO TEMASCALTEPEC

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DEL COMPOST Y VERMICOMPOST DE ESTIÉRCOL PECUARIO,
EN EL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE Y MAÍZ**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A:

JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ TERRÓN

Temascaltepec, Estado de México. Junio 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO TEMASCALTEPEC

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DEL COMPOST Y VERMICOMPOST DE ESTIÉRCOL PECUARIO,
EN EL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE Y MAÍZ**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A:

JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ TERRÓN

TUTORA ACADÉMICA:

Dra. Francisca Avilés Nova

TUTORES ADJUNTOS:

Dr. Rodolfo Serrato Cuevas

Dr. Octavio Alonso Castelán Ortega

Temascaltepec, Estado de México. Junio 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por su constante cuidado hacia mis seres queridos y hacia mí. Gracias a Él es que puedo hacer las cosas, incluido este trabajo.

A mi familia

Porque su amor, comprensión y apoyo me alientan para trabajar cada día.

Al CONACYT

Mi agradecimiento al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología por concederme el apoyo económico y las herramientas para llevar a cabo mis estudios en el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

A la UAEMEX

*Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México, que a través de la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados financió el proyecto “Lombricultura: Biotecnología para la producción de humus y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* L.) y su utilización en los sistemas de producción agropecuaria en el sur del Estado de México”, con No. de registro 3745/2014/CIA.*

A mi tutora académica

Dra. Francisca Avilés Nova, por incluirme en su proyecto, en el Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, por su apoyo y guía durante la maestría.

A mis tutores adjuntos

Dr. Rodolfo Serrato Cuevas y Dr. Octavio A. Castelán Ortega, por su orientación y valiosos aportes para conformar este trabajo.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE IMAGENES	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. La degradación del suelo.....	4
2.2. Fertilidad y calidad del suelo agrícola.....	5
2.2.1. Propiedades físicas.....	5
2.2.2. Propiedades químicas.....	6
2.2.3. Propiedades biológicas.....	7
2.3. La materia orgánica del suelo.....	10
2.3.1. La materia orgánica y las propiedades químicas del suelo.....	11
2.3.2. La materia orgánica y las propiedades físicas del suelo.....	12
2.3.1. La materia orgánica y las propiedades biológicas del suelo.....	13
2.4. Compost y vermicompost.....	14
2.5. Normatividad sobre los abonos orgánicos.....	15
2.6. Uso del compost y vermicompost en la agricultura.....	17
2.7. Aplicación combinada de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.....	20
2.8. Aplicación de compost, vermicompost y fertilizantes químicos en el cultivo de jitomate y maíz.	22
III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.1. Justificación.....	25
3.2. Hipótesis.....	26
3.3. Objetivos.....	26
3.3.1. Objetivo General.....	26
3.3.1. Objetivos específicos.....	26
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1. Metodología general.....	27
4.2. Materiales y métodos empleados en el cultivo de jitomate.....	27
4.2.1. Ubicación y condiciones del experimento.....	27
4.2.2. Fuentes de nutrientes.....	28

4.2.3. Diseño experimental y tratamientos	30
4.2.4. Variables evaluadas.....	31
4.2.5. Análisis estadístico.....	33
4.3. Materiales y métodos empleados en el cultivo de maíz	33
4.3.1. Ubicación y condiciones del experimento.....	33
4.3.2. Fuentes de nutrientes	34
4.3.3. Diseño experimental y tratamientos	36
4.3.4. Variables evaluadas.....	36
4.3.5. Análisis estadístico.....	37
V. RESULTADOS	38
5.1. Recepción y asignación de clave para revisión del artículo, por la revista Agrociencia	38
5.2. Artículo enviado a la revista: “Uso de compost y vermicompost de estiércol de caprino combinados con fertilizantes inorgánicos para la producción sostenible de tomate”.....	39
5.3. Efecto del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.....	63
VI. DISCUSIÓN GENERAL	65
VII. CONCLUSIONES GENERALES	67
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
IX. ANEXOS	73
9.1. Participación como ponente en la LII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria	73
9.2. Otros resultados	74

LISTA DE CUADROS

CUADROS EN LA REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Parámetros de los mejoradores de suelo en el Estado de México.....	16
Cuadro 2. Parámetros de las compostas en el Distrito Federal.....	17

CUADROS EN MATERIALES Y MÉTODOS

Cuadro 3. Propiedades del suelo y de los abonos orgánicos: compost (CC) y vermicompost (VCC) de estiércol de caprinos.	28
Cuadro 4. Dosis de compost (CC) y vermicompost (VCC) de estiércol de caprino.....	30
Cuadro 5. Cantidad de nutrimentos (g m ²) correspondiente a cada nivel de fertilización convencional (FC).....	30
Cuadro 6. Propiedades del suelo y del vermicompost (VCC) de estiércol de caprino.	34

CUADROS EN LOS RESULTADOS

Cuadro 4. Propiedades del suelo al finalizar el experimento.	54
Cuadro 5. Características de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, con tres tratamientos de fertilización.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Longitud de crecimiento total y diámetro de tallo promedio de plantas de tomate (\pm error estándar de la media) 120 días después del trasplante.	47
Figura 2. Longitud de crecimiento y diámetro de tallo de plantas de tomate (\pm error estándar de la media), medidos por periodos de 30 días.	48
Figura 3. Rendimiento total de tomate (\pm error estándar de la media) 63 días a partir de la primera cosecha.	51
Figura 4. Rendimiento de tomate (\pm error estándar de la media), medido por periodos de 21 días.	53

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Determinación de las propiedades químicas del suelo y de los abonos orgánicos.	29
Imagen 2. Aplicación de los abonos orgánicos al suelo.	29
Imagen 3. Medición de la longitud de crecimiento.	31
Imagen 4. Medición del diámetro del tallo.	32
Imagen 5. Cosecha y medición del rendimiento de jitomate.	32
Imagen 6. Análisis químico del suelo. A) Centrifugado, B) Medición de pH.	33
Imagen 7. Determinación de N.	35
Imagen 8. Aplicación de vermicompost al cultivo de maíz.	35
Imagen 9. Medición de la altura de la planta.	36
Imagen 10. Medición del diámetro del tallo.	37
Imagen 11. Plantas de maíz en la etapa de finalización de su crecimiento.	37

RESUMEN

La degradación de los suelos se ha generalizado a nivel mundial y en los suelos agrícolas esto se acentúa con el uso excesivo de agroquímicos. El reciclado de estiércoles pecuarios en forma de abonos orgánicos (AO) como el compost y el vermicompost, ayuda a mantener el rendimiento de los cultivos y la fertilidad del suelo (Rodríguez *et al.* 2008; Doan *et al.*, 2015). El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es importante a nivel mundial (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2017) y es útil para estudiar los aportes de los AO en suelos bajo explotación intensiva (Castellanos *et al.*, 2009). Por su parte, el maíz (*Zea mays* L.) es originario de México y es el principal cultivo básico del país (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (compost: CC y vermicompost: VCC de estiércol de caprino) sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos de jitomate y maíz, y en las propiedades del suelo. Este trabajo consistió en dos experimentos, uno con el cultivo de jitomate y otro con maíz, cada uno con un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. Con el jitomate bajo invernadero, los tratamientos fueron: T1) Fertilización convencional (FC) al 100%; T2) FC al 75%+CC; T3) FC al 75%+VCC; T4) FC al 50%+CC y T5) FC al 50%+VCC; las variables evaluadas fueron: longitud de crecimiento (LC), diámetro de tallo (DT), rendimiento, y algunas propiedades del suelo. El maíz se cultivó a cielo abierto, con los tratamientos: T1) FC al 100%, T2) VCC (1.5 kg m²) y T3) VCC (3 kg m²); las variables: Altura de la planta (AP), DT y rendimiento. El análisis de datos se hizo con ANDEVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). En el trabajo con jitomate, con los tratamientos en que se incluyó algún AO, la LC fue mayor que con la FC100. El rendimiento de T1 fue similar al de T2 y T3, durante 63 días y al de T4 y T5, durante 42 días. El pH del suelo en T4 y T5 resultó mayor que en T1, 3.4 y 3.2%; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en T4 y T5 fue mayor que en T1, 14 y 15%. El contenido de P y K en T1 fue superior que en T4 y T5, en porcentajes que oscilaron entre 11 y 17%. En el experimento con maíz, el tratamiento con VCC a una tasa de 1.5 kg m², presentó valores más bajos de AP, DT y rendimiento. El análisis de resultados sugiere que al aplicar AO se puede reducir la FC y sostener el rendimiento de jitomate por un periodo cuya duración depende de la magnitud en que se reduzca la FC; además, se amortigua el efecto de la FC sobre algunas propiedades del suelo (pH, CIC, P y K). En el cultivo de maíz, con la aplicación de vermicompost en dosis altas (3 kg m²), es posible igualar el rendimiento que se obtiene con la FC.

Palabras clave: Compost, vermicompost, fertilización combinada, sostenible, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Zea mays* L.

ABSTRACT

Soil degradation has been widespread worldwide and in agricultural soils this is accentuated by the excessive use of agrochemicals. The recycling of livestock manures in the form of organic fertilizers (OCs) such as compost and vermicompost helps to maintain crop yields and soil fertility (Rodríguez *et al.*, 2008; Doan *et al.*, 2015). The tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is important worldwide (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2017) and is useful to study the contributions of OCs in soils under intensive exploitation (Castellanos *et al.*, 2009). Maize (*Zea mays* L.) originated in Mexico and is the main basic crop of the country (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008). The objective of this study was to evaluate the effect of the combined application of inorganic and organic fertilizers (compost: CC and vermicompost: VCC of goat manure) on the growth and yield of tomato and maize crops, and on soil properties. This work consisted of two experiments, one with the cultivation of tomato and the other with maize, each with a completely random experimental design, with four replications. With the tomato under greenhouse, the treatments were: T1) 100% conventional fertilization (FC); T2) FC at 75% + CC; T3) FC at 75% + VCC; T4) 50% FC + CC and T5) 50% FC + VCC. The evaluated variables were: growth length (LC), stem diameter (DT), yield, and some soil properties. Maize was cultivated in the open air, with the treatments: T1) 100% FC, T2) VCC (1.5 kg m²) and T3) VCC (3 kg m²); the variables: plant height (AP), DT and yield. Data analysis was done with ANDEVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). In the work with tomato, with the treatments that included some OCs, the LC was greater than with the FC100. The yield of T1 was similar to that of T2 and T3 for 63 days and that of T4 and T5 for 42 days. Soil pH in T4 and T5 was higher than in T1, 3.4 and 3.2%. The cation exchange capacity (CEC) at T4 and T5 was higher than at T1, 14 and 15%. The content of P and K in T1 was higher than in T4 and T5, in percentages ranging from 11 to 17%. In the maize experiment, treatment with VCC at a rate of 1.5 kg m² showed lower values of AP, DT and yield. The analysis of results suggests that when applying OCs the FC can be reduced and the yield of tomato can be sustained for a period whose duration depends of the magnitude in which the FC is reduced. In addition, the effect of FC on some soil properties (pH, CEC, P and K) is cushioned. In maize cultivation, with the application of vermicompost in high doses (3 kg m²), it is possible to match the yield obtained with FC.

Keywords: Compost, vermicompost, combined fertilization, sustainable, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Zea mays* L.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional juega un papel significativo en la satisfacción de la demanda de alimentos de una población humana en crecimiento, lo que ha dado lugar a la creciente dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas que contaminan el agua, el aire y el suelo. En este sentido, recientemente se han canalizado esfuerzos hacia la producción sostenible de alimentos de alta calidad y ricos en nutrientes (Thangarajan *et al.*, 2013). El reciclado de residuos vegetales, otros biosólidos y estiércoles de animales, convertidos en abonos orgánicos (AO) como el compost y el vermicompost, mejoran el crecimiento y rendimiento de las plantas, el contenido de C del suelo, así como la masa y actividad microbiana (Bhardwaj *et al.*, 2014). Los suelos agrícolas cultivados intensivamente mejoran su calidad mediante la aplicación AO, por lo que estos también se catalogan como enmiendas o mejoradores del suelo (Durán y Henríquez, 2010; Doan *et al.*, 2013a; Moreno *et al.*, 2016).

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza más popular en el mundo (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2017); debido a sus altas exigencias nutrimentales es útil para el estudio de los aportes de nutrientes de los AO y de las técnicas para mantener la fertilidad del suelo explotado intensivamente. En México hay productores que con apoyo en los AO se han mantenido en la producción de jitomate en suelo por más de siete años, manteniendo altos rendimientos y con un ahorro importante en fertilizantes y agua (Castellanos *et al.*, 2009).

Por su parte, el cultivo maíz (*Zea mays* L.), originario de México, es el principal cultivo básico en gran parte del país por su alto valor alimenticio para el hombre y para los animales domésticos. Además, en México son cada vez más los productores que toman conciencia de la importancia de reducir el uso de productos químicos en la agricultura (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

El compostaje de desechos orgánicos es un proceso biooxidativo que involucra la mineralización y humificación parcial de la materia orgánica (MO), conduciendo a un producto final estabilizado, higiénico, libre de fitotoxicidad y patógenos (Bernal *et al.*, 2009). El vermicompostaje es un proceso biológico y ecológico en el cual las interacciones entre las lombrices de tierra y los microorganismos conducen a la biooxidación y estabilización de los desechos orgánicos (Domínguez y Gómez-Brandón 2013). El vermicompost estimula, la actividad microbiana y la mineralización de los nutrientes del suelo para el consumo de las plantas; además contiene sustancias promotoras del crecimiento vegetal (vitaminas, hormonas, enzimas), por lo que aumenta la fertilidad y la calidad del suelo (Doan *et al.*, 2015).

El compost, al ser aplicado en una rotación de cultivos maíz-calabaza, tuvo un efecto positivo persistente sobre el rendimiento de los cultivos en tres años de aplicación (Olsen *et al.*, 2015). Verma *et al.* (2014), señalan al compost y a los microorganismos benéficos como suplementos del suelo, derivando en múltiples beneficios para el cultivo del tomate, poniendo así de relieve la necesidad de reducir el uso de fertilizantes químicos en la agricultura. Doan *et al.* (2015), usaron estiércol de búfalo, compost y vermicompost. Encontraron que con el vermicompost aplicado al cultivo de maíz (bajo estrés por limitación de agua), hubo una mejora en el crecimiento y rendimiento. Otros efectos benéficos del vermicompost, fueron: reducir el agua de escorrentía, la disgregación del suelo y el N transferido al agua (NH_4^+ y NO_3^-). Estos efectos fueron más significativos con el vermicompost comparados con el compost y el estiércol de búfalo. Sumado a lo anterior, el uso de AO tiene una influencia significativa en el contenido de nutrientes en plantas adultas de jitomate, en comparación con las que se emplea la fertilización química convencional (FC) sin AO (Shankar *et al.*, 2012).

No obstante, una limitante del empleo de AO en cultivos intensivos como el jitomate, es que su aplicación sin FC, reduce los rendimientos drásticamente; en cambio, el uso de compost combinado con FC, genera mayores rendimientos y mejor calidad de frutos de jitomate que con la FC sin AO. En ese sentido, con la fertilización combinada orgánica e inorgánica (con la

reducción de la FC en un 40%) se han registrado los más altos valores de biomasa microbiana, C, respiración basal y actividad deshidrogenasa, obteniendo frutos con calidad y en cantidad similar al tratamiento con la FC al 100% (Hernández *et al.*, 2014). Pareek *et al.* (2015), al probar combinaciones de N inorgánico con vermicompost en plantas de mandarina, señalan que el efecto del tratamiento con N 350 g / planta + vermicompost 20 kg / planta fue el mayor respecto a la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo. Khaliq, *et al.* (2006), encontraron que con el uso integrado de materiales orgánicos + microorganismos benéficos + 1/2 de la dosis de NPK de la FC recomendada, el rendimiento de algodón (2,091 kg ha⁻¹), fue similar al que se obtuvo aplicando el total de la dosis de NPK recomendada (2,165 kg ha⁻¹), con lo cual se ahorra el N inorgánico en casi el 50%. En otra investigación, con el cultivo de lechuga, mediante la aplicación al follaje de sustancias húmicas solubles extraídas del vermicompost, se incrementó el rendimiento y el ciclo productivo se acortó 21 días (Hernández *et al.*, 2015).

Aunque los beneficios del compost y vermicompost son aceptados de forma generalizada, existen algunos trabajos con resultados divergentes; por ejemplo, Lazcano *et al.* (2009) observaron un crecimiento significativo de plántulas de tomate al aplicar compost en dosis bajas (20 y 30 %) y vermicompost en dosis altas (50, 75 y 100 %), en mezclas con sustrato comercial. Los beneficios observados al aplicar AO, tanto en investigaciones como en la producción comercial, alientan a profundizar en las relaciones que se dan entre la aplicación de AO, el uso de fertilizantes químicos, las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de compost o vermicompost de estiércol de caprino, sobre el crecimiento y rendimiento del jitomate y maíz, y en las propiedades del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La degradación del suelo

La fertilidad del suelo es crucial para la perdurabilidad de este planeta; sin embargo, desde el año de 1970, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido publicó un informe que concluía que algunos suelos estaban ya con un contenido muy bajo de MO (Lampkin, 1998). Esta tendencia no ha cambiado, sino que la degradación de los suelos se ha generalizado a nivel mundial y México no es la excepción. El uso excesivo de agroquímicos deja residuos de contaminantes en los productos agrícolas y en los suelos; además, se realizan otras prácticas agrícolas insostenibles como la labranza excesiva, con lo que se ha aumentado el rendimiento de los cultivos a expensas de la calidad del suelo (Rodríguez *et al.* 2008; Doan *et al.*, 2015). La productividad de los suelos está disminuyendo rápidamente. Nuestra dependencia de los fertilizantes químicos y los plaguicidas ha fomentado la prosperidad de las industrias que producen sustancias químicas que amenazan la vida y que no sólo son peligrosas para el consumo humano sino que también pueden perturbar el equilibrio ecológico (Bhardwaj *et al.*, 2014). La pérdida de fertilidad del suelo, la erosión, escurrimiento de nutrientes, disminución de la MO estable, salinización, alcalinización y desertificación, provocan que el suelo se vuelva incapaz de producir, excepto cuando los nutrientes necesarios para el cultivo se obtienen de fuera del sistema productivo. Esto se acentúa con el cultivo intensivo sin prácticas efectivas de conservación del suelo (Guzmán *et al.* 200; Hernández *et al.*, 2014) y con una fertilización excesiva, que reduce la calidad nutritiva de los productos agrícolas (Verma *et al.*, 2015; Abduli *et al.*, 2013).

La disminución de la materia orgánica del suelo (MOS), es un factor principal que causa la degradación de los servicios de los ecosistemas y la pérdida de resiliencia (Doan *et al.*, 2013a; Doan *et al.*, 2015). El manejo agrícola inadecuado del suelo también provoca su degradación

biológica, afectándose los organismos (entre ellos los microorganismos), que participan de la génesis y mantenimiento de la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes para las plantas, el reciclaje de los mismos y el control de plagas y enfermedades; por ello, los organismos vivos son excelentes indicadores de la fertilidad del suelo (Tiltson *et al.*, 2002; Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007; Bhardwaj *et al.*, 2014). De lo anterior se deriva la necesidad de desarrollar sistemas sostenibles para llevar un adecuado manejo del suelo agrícola.

2.2. Fertilidad y calidad del suelo agrícola

El potencial productivo de un suelo agrícola depende de su fertilidad, la cual está determinada por sus atributos físicos, químicos y biológicos, los cuales interactúan influyéndose unos a otros. El término “calidad del suelo” se comenzó a usar a fines del siglo XX, al reconocer las funciones de este. El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of América sintetizó esta definición como “la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat” (García *et al.*, 2012). La calidad del suelo no se debe evaluar en base a un grupo restringido de indicadores, ya que la variación de las condiciones genera estatus diversos en las propiedades del suelo. Es mejor considerar la funcionalidad del ecosistema, ya que integra e interconecta los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo, en una situación determinada (Astier-Calderón *et al.*, 2011).

2.2.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo reflejan cómo el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas, así como las condiciones que limitan el crecimiento de las raíces, la emergencia de

las plántulas, la infiltración, el movimiento del agua dentro del perfil y el intercambio de gases (Navarrete *et al.*, 2011). Algunos indicadores empleados, son la textura, profundidad, conductividad hidráulica, densidad aparente, capacidad de retención de agua y porosidad del suelo (García *et al.*, 2012; Navarrete *et al.*, 2011).

La estructura del suelo es una propiedad primordial, ya que involucra la forma, grado y tamaño de los agregados, por lo que afecta la porosidad, la retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire. La porosidad influye además en el crecimiento de las raíces de los cultivos. La capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número de poros, de la distribución de tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (Martínez *et al.*, 2008).

2.2.2. Propiedades químicas

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos (Navarrete *et al.*, 2009). A menudo se dificulta separar claramente las funciones del suelo en físicas, químicas y los procesos biológicos, debido a la naturaleza dinámica e interactiva de estos procesos. Esta interconexión es especialmente importante entre las propiedades químicas y los indicadores biológicos de calidad del suelo, de tal manera que algunos autores pueden considerar la misma propiedad (por ejemplo el N mineralizable) en ambas categorías (Navarrete *et al.*, 2011). Algunos indicadores químicos del suelo son la disponibilidad de nutrimentos (P, K, Ca, Mg), el C orgánico total, el C orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes (CIC), los cambios en la MO, el N total y el N mineralizable (García *et al.*, 2012; Navarrete *et al.*, 2011;). Es importante considerar que uno de los problemas que presenta la utilización de las propiedades químicas

como indicadores de la calidad del suelo es su alta variabilidad estacional (Navarrete *et al.*, 2011).

Los cambios en el C orgánico del suelo afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sánchez *et al.*, 2004). La relación C orgánico lábil: C orgánico total es un indicador del efecto de diferentes sistemas productivos sobre la fracción orgánica del suelo. Este indicador se utiliza para evaluar los cambios de la MOS, asociados a sistemas de labranza, uso y capacidad productiva de los suelos. La razón entre la concentración de C en la fracción arcilla-limo y el C orgánico total, o factor de enriquecimiento de C, es otro indicador que permite estudiar el almacenamiento de C en suelos con distinto historial de manejo (Martínez *et al.*, 2008).

La CIC, es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH, observándose un aumento de la CIC con el pH, por lo que la CIC total se mide a pH 8,2. Se considera que la CIC permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas (Martínez *et al.*, 2008).

2.2.3. Propiedades biológicas

La actividad biológica es un indicador de cambios tempranos que modifican la dinámica de nutrientes antes que éstos puedan ser detectados por análisis químicos. La actividad biológica se puede determinar mediante diversos métodos, dependiendo del nivel jerárquico de tamaño corporal y funcionalidad de los organismos del suelo. La biota del suelo representa de 1 a 3% del C orgánico del suelo y el componente microbiano varía desde 100 hasta 1000 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo (Martínez *et al.*, 2008).

La macro y mega fauna (2-20 mm). Los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los

macroinvertebrados. Estos rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, turrículos o compartimientos; también influyen en el suelo de forma indirecta, mediante la formación de comunidades de microorganismos, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc. (García *et al.*, 2012).

Las lombrices han sido identificadas como un grupo funcional clave y son consideradas ingenieras del suelo debido a su influencia en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. La actividad de la lombriz de tierra es un importante factor de control de la dinámica de la vegetación y la diversidad y varios estudios han informado de su influencia positiva en el crecimiento de las plantas (Doan *et al.* 2013a).

Microorganismos (< 100µm). El componente microbiano incluye nematodos, protozoos, organismos filamentosos, levaduras, hongos, microalgas y una gran diversidad de bacterias, incluido los actinomicetes, el grupo archae, los quimio y fotolitotrofos y una gran cantidad de formas aun no cultivadas (Martínez *et al.*, 2008).

Los microorganismos son uno de los factores más importantes en la sostenibilidad agrícola, ya que influyen en la disponibilidad de nutrientes, control de patógenos, promoción de crecimiento, fijación biológica de nitrógeno molecular, así como en las diferentes interacciones que tienen el suelo el agua y las plantas (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007). Desempeñan un papel clave en la mayoría de las reacciones que tienen lugar en los suelos, contribuyen a la formación del suelo y la estabilidad sus propiedades físicas y químicas, participan en la formación de agregados, descomposición de la MO y en los ciclos de nutrientes. Como resultado, la cantidad y la actividad de los microorganismos del suelo está estrechamente relacionado con la funcionalidad y fertilidad del suelo (Hernández *et al.*, 2014). Algunos indicadores de la calidad del suelo son: la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos, las tasas de descomposición de los residuos vegetales, el N y C de la biomasa microbiana. El balance de la actividad metabólica de los microorganismos en los suelos se puede evaluar mediante la medición de las enzimas implicadas en los ciclos del C, N

y P, permitiendo el cálculo de la diversidad funcional de las comunidades microbianas en el suelo. La biomasa microbiana (C microbiano) expresa la cantidad de organismos que viven en el suelo generalmente más pequeños a $10\mu\text{m}$, principalmente hongos y bacterias (Navarrete *et al.*, 2011) y se puede utilizar como un indicador sensible al manejo y a la toxicidad debida a pesticidas, metales y otros contaminantes antropogénicos.

Los hongos que forman micorrizas pueden aumentar la disponibilidad de nutrimentos como el P, N, Cu y Zn, necesarios para el desarrollo de las plantas. Además, son parte de la dieta de vertebrados e invertebrados. Ciertos hongos presentes en el suelo, son antagónicos de patógenos y pueden prevenir la infección de las plantas. También se ha observado que algunos hongos producen compuestos que estimulan las defensas naturales de las plantas y mejoran su resistencia a patógenos (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007). Otro ejemplo de hongos benéficos es *Trichoderma spp.*, que coloniza rápidamente las raíces de las plantas y puede inhibir los fitopatógenos a través de su actividad antagonista y mycoparasítica. Algunas cepas de *Trichoderma* pueden interactuar con las raíces, aumentando crecimiento de la planta y la tolerancia al estrés abiótico (Hermosa *et al.*, 2012).

Las bacterias promotoras de crecimiento de las plantas, son un grupo de diferentes especies que pueden incrementar el crecimiento y la productividad vegetal. Los mecanismos que estas bacterias utilizan pueden ser a través de su propio metabolismo (solubilizando fosfatos, produciendo hormonas o fijando N), afectando directamente el metabolismo de la planta (incrementando la toma de agua y de minerales), mejorando el desarrollo de la raíz, incrementando la actividad enzimática de la planta o ayudando a otros microorganismos para que actúen mejor sobre las plantas, o suprimiendo a los fitopatógenos (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007). Por ejemplo, cepas de *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Phosphobacter* y *Rhizobacter* pueden proporcionar N para el girasol *Helianthus annuus* y aumentar la altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo y porcentaje de llenado de las semillas. Del mismo modo, en el arroz, la adición de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Rhizobium* promueve la fisiología y mejora

la morfología de la raíz (Bhardwaj *et al.*, 2014). Cianobacterias que fijan nitrógeno, tales como *Aulosira*, *Tolypothrix*, *Scytonema*, *Nostoc*, *Anabaena* y *Plectonema* son comúnmente utilizadas como biofertilizantes gracias a su aporte de N, sustancias promotoras del crecimiento y vitaminas (Bhardwaj *et al.*, 2014). Algunas especies de *Pseudomonas* y de *Bacillus*, producen lipopéptidos que tienen actividades líticas e inhibitorias del crecimiento de una amplia gama de microorganismos, incluyendo virus, micoplasmas, bacterias, hongos y oomicetos. *Bacillus spp.* provoca resistencia sistémica inducida en las plantas, y participa en la promoción del crecimiento de las plantas (Kloepper *et al.*, 2004).

2.3. La materia orgánica del suelo

Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie y dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Martínez *et al.*, 2008). El carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan el COS, y que la MOS se estima a partir del COS multiplicado por factores como el de van Benmelen (1.724), pero esto varía entre diferentes suelos y horizontes, por lo que es preferible informar el valor del COS, sin transformar (Martínez *et al.*, 2008).

La MOS mejora la forma en que el agua interactúa con el suelo. En suelos arenosos, los desechos orgánicos ayudan a retener el agua en el suelo. En suelos arcillosos, la MOS incrementa la porosidad, por lo que hace que drene más fácilmente. La MOS también aporta gran número de microbios benéficos (Hernández *et al.*, 2014) y participa en la agregación y

mejora de diversas propiedades físicas del suelo, incluyendo la capacidad de retención de humedad (Tejada *et al.*, 2006). Por lo tanto, el aumento de la MOS debe ser el primer paso en cualquier práctica agrícola. Adiciones de materia orgánica son el único medio de hacer algunos suelos económicamente productivos (Hernández *et al.*, 2014).

En la materia orgánica del suelo (MOS) se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. Las sustancias húmicas son el principal componente de la MOS y representan por lo menos el 50% de ésta (Simpson *et al.*, 2007). Dentro de la fracción húmica, las huminas son el componente más abundante e incluyen una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y contienen además, compuestos no húmicos como largas cadenas de hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, que pueden ser de origen microbiano, como polisacáridos y glomalina, íntimamente asociados a los minerales del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

La MOS también se puede caracterizar de acuerdo a métodos físicos de fraccionamiento. Los métodos físicos se pueden agrupar en tres grandes grupos: tamizado, sedimentación y densitometría. En la MOS total existe una fracción de gran tamaño (> 53 μm) cuyo contenido de COS es conocido como C orgánico particulado o C orgánico lábil que es más activo y de rápida descomposición (Franzlubbers y Arshad, 1997).

2.3.1. La materia orgánica y las propiedades químicas del suelo

El aumento del contenido de la MOS mejora varias propiedades del suelo, especialmente las propiedades químicas tales como el pH, CE, CIC y nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas incluyendo N, P y K (Thangaranjan *et al.*, 2013). La MOS tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y a disminuirlo cuando es alcalino. En suelos con bajo nivel de C orgánico las variaciones de este generan grandes cambios en la capacidad tampón. Sin embargo, en suelos con alto contenido de C orgánico, las variaciones de éste sólo generan

cambios marginales de la capacidad tampón. Esto se debe a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de N presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Martínez *et al.*, 2008). El aumento de pH podría explicarse por la liberación por mineralización de las bases de cambio contenidas en los compuestos orgánicos y por el contenido inicial de N. La disminución del pH del suelo con aplicación de AO ha sido atribuida a la formación de ácidos orgánicos durante la degradación de la MO (Thangaranjan *et al.*, 2013).

Se ha reportado que la aplicación de MO incrementa la CIC del suelo. Este efecto es vital para retener los cationes nutritivos esenciales y ponerlos a disposición de las plantas (Demelash *et al.*, 2014; Thangaranjan *et al.*, 2013). Esta es la forma más común de interacción entre los compuestos de C orgánico del suelo y los cationes. Los coloides inorgánicos prácticamente no varían en un suelo en particular, con valores de CIC que fluctúan entre 2 y 150 cmol (+) kg⁻¹ suelo. Por otro lado, los coloides orgánicos, son altamente dependientes del manejo y pueden tener una CIC que supere los 200 meq 100 g⁻¹ de suelo (Martínez *et al.*, 2008). La MOS también afecta la fertilidad, incrementándose, por ejemplo, la disponibilidad de P por bloqueo de potenciales sitios de reacción con Fe, Al y Ca (Martínez *et al.*, 2008). Se ha observado que la adición de materiales orgánicos a los suelos aumenta la tasa de mineralización de P en suelos, de 0,06 (control) a 0,27 mg P / kg / día, también incrementa el P disponible para la planta entre 1,3 y 1,6 veces y disminuyen la fijación de P (Thangaranjan *et al.*, 2013). Los AO liberan paulatinamente sus nutrientes, y se requieren alrededor de dos años para que la mayor parte de estos queden disponibles para las plantas (Weil y Magdoff, 2004).

2.3.2. La materia orgánica y las propiedades físicas del suelo

La MOS mejora algunas de sus características físicas, como la cantidad de agregados hidrostables, la densidad aparente y la porosidad, que favorecen el flujo de aire y agua y el desarrollo radicular de las plantas (Aguilar-Benítez *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2016).

Existe una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados (Martínez *et al.*, 2008).

2.3.1. La materia orgánica y las propiedades biológicas del suelo

La macrofauna del suelo se beneficia con la aplicación de materiales orgánicos. Un grupo de organismos que se beneficia de la abundancia de residuos orgánicos del suelo son las lombrices de tierra. Consumen MO mezclada con suelo, de donde obtienen energía y nutrientes, generan galerías que aumentan la macroporosidad del suelo, aumentan la agregación y la infiltración y mejoran las condiciones químicas del suelo mediante sus deyecciones o coprolitos. Además, los organismos del suelo participan en la formación y estabilización de la estructura y porosidad del suelo (Doan *et al.*, 2003b). La MOS influye positivamente en las propiedades biológicas del suelo, incrementando la biomasa microbiana, respiración del suelo y actividades enzimáticas (Tejada *et al.*, 2006)

Por otro lado, los organismos del suelo descomponen los residuos orgánicos participando activamente en los ciclos de muchos elementos utilizados por las plantas. La descomposición de los residuos orgánicos ocurre en tres fases: 1) fragmentación y mezcla con el suelo mineral efectuada por la macro y mega fauna (2-20 mm), 2) ruptura de grandes moléculas mediante la acción de enzimas liberadas por algunos hongos y bacterias y, 3) asimilación y transformación de los productos solubles generados en la etapa anterior a través de los microorganismos del suelo (microflora y microfauna < 100µm). Los productos secundarios del metabolismo de los organismos y de la ruptura de grandes moléculas se acumulan como una sustancia coloidal compleja (humus), en el proceso se libera energía, agua y elementos en formas minerales (Martínez *et al.*, 2008).

2.4. Compost y vermicompost

La adecuada gestión y reciclaje de residuos orgánicos vegetales, otros biosólidos y estiércoles de animales para ser usados como fertilizantes y acondicionadores del suelo, constituye uno de los mejores medios para mantener y restaurar la productividad del suelo (Hernández *et al.*, 2014). El compostaje es un proceso empleado para reciclar residuos orgánicos y obtener humus higiénico y eficaz como abono orgánico (Bernal *et al.*, 2009) Este proceso es una de las mejores estrategias para el manejo de residuos, para estabilizar el estiércol pecuario, siendo el compost es una alternativa de bajo costo como fertilizante orgánico y con valor comercial (Lazcano *et al.*, 2008). En cuanto a las ventajas ambientales, el compostaje reduce la masa del estiércol, destruye patógenos y malas hierbas, lo desodoriza y reduce las emisiones de gases efecto invernadero (Bernal *et al.*, 2009).

La actividad de las lombrices de tierra se utiliza en el manejo de desechos orgánicos, para la producción de compost de alta calidad, conocido como vermicompost. El vermicompostaje es un proceso biológico y ecológico, en el que las interacciones entre las lombrices de tierra y los microorganismos conducen a la biooxidación y estabilización de los desechos orgánicos (Doan *et al.*, 2013b). El vermicompost es un estiércol obtenido mediante el paso de materia orgánica semi-degradada a través del tracto digestivo de las especies de lombrices de tierra, impregnándolo con mucosa gastrointestinal, vitaminas y enzimas. El resultado es un fertilizante orgánico enriquecido para su uso agrícola (Arancon *et al.*, 2008). Este sustrato ha demostrado mejorar la germinación, el crecimiento y el rendimiento de las plantas debido a que estimula el crecimiento y la actividad microbiana del suelo y la posterior mineralización de los nutrientes del suelo, dejándolos en formas apropiadas para ser consumidos por las plantas, además contiene sustancias promotoras del crecimiento vegetal (vitaminas, hormonas, enzimas), por lo que aumenta la fertilidad y la calidad del suelo (Doan *et al.*, 2015; Arancon *et al.*, 2008). También se ha reportado la utilidad del vermicompost para reducir el impacto negativo de las enmiendas

orgánicas debido a la transferencia de N mineral y microbios al agua (Jouquet *et al.*, 2011; Doan *et al.*, 2013a,b).

Pérez *et al.* (2008) al comparar el vermicompost con bokashi y compost, concluyeron que las características físicas, químicas y biológicas de los AO dependen de las condiciones de manejo, tipo de material utilizado en su preparación y procesos de elaboración, por lo que es de esperar que la calidad de estos productos sea muy diversa. Además, las concentraciones de nutrimentos, son bajas, en comparación con los fertilizantes químicos (Durán y Henríquez, 2010). Esto obliga que las dosis en que se aplican los AO, sean más altas y variables que las utilizadas con los fertilizantes minerales. También es conveniente señalar que cuando un suelo no presenta limitantes de fertilidad y es tratado con AO, es posible que no se dé una respuesta significativa en los cambios de las propiedades del suelo (Durán y Henríquez, 2010).

2.5. Normatividad sobre los abonos orgánicos

La utilización de residuos orgánicos en la agricultura depende de varios factores, incluyendo las características de los residuos tales como la MO, nutrientes y contenido de metales pesados, su valor energético, el olor generado por los residuos, sus beneficios para la agricultura, su disponibilidad, los costos de transporte y consideraciones regulatorias. Aunque la importancia de estos factores puede variar según el tipo de residuos orgánicos, las consideraciones para su uso son similares para la mayoría de los residuos orgánicos (Hernández *et al.*, 2014).

En el cuadro 1 se pueden ver los criterios que la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006 emitida por la Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México, para establecer algunas propiedades físicas, químicas y sanitarias de los mejoradores de suelo obtenidos de residuos orgánicos.

Cuadro 1. Parámetros de los mejoradores de suelo en el Estado de México.

Características	Método de determinación	Resultados
	Parámetros Químicos	
pH	NMX-AA-025-1984	6.5 A 8.0
Materia orgánica	NMX-AA-021-1985	mayor a 15%
Relación carbono-nitrógeno	NMX-AA-067-1985	menor a 12
Fosforo	NMX-AA-094-1985	mayor a 0.1% ó 1000 partes por millón
Potasio	Acetato de amonio pH 7 Anexo I	mayor a 0.25% ó 2,500 partes por millón
Relación potasio- sodio	Extracción con acetato de amonio pH 7 por absorción atómica o flamometría Anexo I	mayor a 2.5
	Parámetros microbiológicos	
Hongos fitopatógenos	Siembra en agar dextrosa papa Anexo II	Ausente
Huevos de helmintos g en base seca ⁽¹⁾	Anexo III	Menor a 10
Coliformes fecales NMP ⁽²⁾ /g en base seca	Anexo IV	Menor a 1000
Salmonella spp G en base seca	Anexo V	Menor a 3

(1) Huevos de helmintos viables; (2) Número más probable.

Fuente: Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006.

En el cuadro 2 se registran los parámetros para las compostas usadas en el Distrito federal, de acuerdo con la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011.

Cuadro 2. Parámetros de las compostas en el Distrito Federal.

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma \leq 7%: portará la leyenda “Composta - mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	\leq 10mm	\leq 30 mm	
Fitotoxicidad (IG)	IG \geq 85 %	IG \geq 75 %	IG \geq 60 %
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad \geq 50 cm	\leq 10°C		\leq 15°C

Fuente: Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011.

2.6. Uso del compost y vermicompost en la agricultura

Los AO afectan las propiedades del suelo en numerosas y variables formas. Estos efectos pueden deberse a las propiedades intrínsecas de la enmienda orgánica (efecto directo) o como consecuencia de la influencia beneficiosa de esta, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Hernández *et al.*, 2014). Numerosos estudios sugieren que la aplicación de

AO al suelo es una alternativa para mantener una producción de cultivos económicamente viable, con una contaminación ambiental mínima. Se ha demostrado que la fertilización orgánica mejora el contenido de MOS, la biomasa microbiana y su actividad para suprimir las enfermedades de las plantas, especialmente las causadas por patógenos transmitidos por el suelo, y para mejorar la resistencia del suelo contra la erosión (Tiltson *et al.*, 2002; Demelash *et al.*, 2014; Thangarajan *et al.*, 2013; Doan *et al.*, 2015). Los desechos orgánicos y sus composts representan una fuente de nutrientes para la agricultura sostenible, además de liberar nutrientes lentamente, también se impide las pérdidas de fertilizantes químicos a través de la desnitrificación, volatilización, y lixiviación (Mueller *et al.*, 2013). Los nutrientes se liberan a medida que son necesarios para las plantas, por lo que mejora los tejidos de las plantas y les permite realizar sus funciones de manera más eficiente. Un fertilizante orgánico ideal debe ser capaz de dar rendimientos razonables, aumentar la fertilidad del suelo y la calidad y mantener la productividad (Verma *et al.*, 2015).

En general, los beneficios del compost son: 1) mejora las características de fertilidad de los suelos, como capacidad de almacenamiento de agua, mineralización de N, P y K; 2) mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas; 3) fomenta la actividad microbiana (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Al emplear compost se reducen los fertilizantes químicos, hay menor contaminación ambiental y disminuye el costo de producción. En consecuencia, los agricultores que usan estas prácticas esperan mayores ingresos, debido a los altos rendimientos y una mejora en la fertilidad y la productividad del suelo (Aguilar-Benítez *et al.*, 2012). El compost de estiércoles pecuarios con dosis de 20 a 30 t ha⁻¹, ha mostrado ser una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica en cultivo de maíz, ya que la fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K tuvo un rendimiento de grano de maíz (6.05 t ha⁻¹), similar al obtenido con el compost de estiércol pecuario (5.66 t ha⁻¹) (López-Martínez *et al.* 2001).

El efecto del compost y vermicompost está definido por sus características físicas, químicas y biológicas, las cuales varían con las condiciones y materiales de cada caso (Pérez *et al.*, 2008).

Con base en lo anterior, es de esperar que la calidad final de los AO sea muy diversa así como su efecto en el suelo y los cultivos. Además, la respuesta a tasas similares de aplicación de AO, puede variar sustancialmente de acuerdo al tipo de suelo, lo cual impide hacer estimaciones generalizadas al respecto (Durán y Henríquez, 2010).

Moreno *et al.* (2016) encontraron que el compost mejora la calidad de los suelos degradados debido a un manejo intensivo en invernadero. El AO incrementó el contenido de MOS, lo que es coherente con la baja velocidad de degradación del compost en el suelo y confirma su utilidad como fuente de C orgánico. Un mayor contenido de la MOS lleva a la disminución de la densidad aparente, y también al aumento de la porosidad y el agua disponible del suelo. El compost también fue fuente eficaz de nutrientes, particularmente N, P, K y Ca, el último de los cuales contribuye a disminuir los niveles de Na intercambiable en la capa superficial del suelo. El AO aumentó la actividad enzimática (en especial de la deshidrogenasa y de la fosfatasa).

Además de los beneficios antes descritos, el uso de AO tiene una influencia significativa en el contenido de nutrientes en plantas adultas de jitomate, en comparación con las que se emplea la fertilización convencional (Shankar *et al.*, 2012).

Respecto al vermicompost, es un estimulador del crecimiento y la actividad microbiana del suelo y la posterior mineralización de los nutrientes de las plantas. Aumenta la fertilidad y la calidad del suelo y contiene sustancias promotoras del crecimiento de las plantas, tales como vitaminas, hormonas y enzimas (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007; Doan *et al.*, 2015; Abduli, *et al.*, 2013). El vermicompost también puede reducir el impacto negativo de los AO sobre la transferencia de N mineral y microbios al agua (Jouquet *et al.*, 2011; Doan *et al.*, 2013 a, b).

En cuanto a la aplicación de vermicompost mezclado en diferentes proporciones con suelo, se ha encontrado el máximo rendimiento y altura de las plantas de jitomate en la proporción de 1:1 de la mezcla vermicompost:suelo (Abduli *et al.*, 2013). Lazcano *et al.* (2009) reportaron al compost y vermicompost como sustratos adecuados para el crecimiento de plantas de jitomate. Las dosis bajas de compost (10 y 20%) y altas dosis de vermicompost produjeron incrementos

significativos en la biomasa aérea y la raíz de las plantas de jitomate. Además estos tratamientos mejoraron significativamente la morfología de la planta (mayor número de hojas y área foliar, y el aumento de volumen de raíz y la ramificación de la misma). Otros estudios han encontrado que el vermicompost mejoró el crecimiento de plantas de jitomate y aumentó el contenido de vitamina C y de azúcar en los tomates. (Mueller et al., 2013; Abduli *et al.*, 2013).

La aplicación de compost al suelo produce una mejora en las propiedades físicas y biológicas del mismo, así como en la producción y la calidad del trigo (García-Mendivil *et al.*, 2014).

El aporte de N y C del vermicompost hacia el suelo puede ser muy significativo y favorece la humificación y la formación de estructuras que generen capacidad de carga a nivel coloidal. Además de N y C, el aporte de otros elementos como el Ca, Mg, K y P puede ser importante, en suelos con una baja fertilidad. Algunos estudios han corroborado el efecto positivo de estos materiales en el mejoramiento de la capacidad buffer del suelo y su efecto en la disminución de la acidez (Durán y Henríquez, 2010).

El vermicompost ha sido ampliamente estudiado como un medio de crecimiento de plantas y como mejorador del suelo, pero los beneficios de su interacción con lombrices endógenas sólo ha sido abordada en algunos estudios (Atiyeh *et al.*, 2000a,b; Rodríguez *et al.*, 2008; Azarmi *et al.*, 2008; Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007; Jouquet *et al.*, 2010; Ngo *et al.*, 2012).

2.7. Aplicación combinada de fertilizantes orgánicos e inorgánicos

La rotación de cultivos con periodos de barbecho regulares y el uso de residuos de plantas o de estiércol animal se practican en la agricultura tradicional para mantener la fertilidad y la salud del suelo. Sin embargo, estos métodos tradicionales han sido reemplazados por la aplicación de fertilizantes minerales. La FC poseen ventajas respecto a los AO, tales como su alta concentración y solubilidad, facilitando la absorción de nutrientes por las plantas (Thangarajan *et al.*, 2013). Por lo anterior, una limitación importante de la aplicación de AO, es que su

impacto en el rendimiento de las plantas es menor que el de la FC (Hernández *et al.*, 2014). La mayoría de los estudios sobre AO se llevan a cabo en países desarrollados, donde el desempeño de los AO es en promedio 20% menor que con la FC, y esta diferencia alcanza el 43% en los países en desarrollo. Por lo tanto, se necesita más investigación, especialmente en los países en desarrollo, para mejorar nuestro conocimiento del potencial de los AO, así como para mejorar su efectividad (Doan *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso de los AO está aumentando rápidamente debido al crecimiento de las demandas mundiales de alimentos y de los costos de la FC, (Abduli *et al.*, 2013; Thangarajan *et al.*, 2013). Una opción para solucionar esta problemática, es emplear de forma combinada los AO con FC disminuida, ya que la sola aplicación de AO a veces se dificulta, porque algunos cultivos tienen necesidades nutrimentales altas y puntuales a lo largo de su ciclo de crecimiento, por lo que se ocuparían grandes cantidades de AO para satisfacer las necesidades generales de la cosecha y los AO podrían no suministrar suficientes cantidades de nutrientes en el momento oportuno (Demelash *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2014). La fertilización combinada orgánica e inorgánica no sólo resulta en beneficios económicos para el agricultor de pequeña escala, sino que también reduce la contaminación debido a la disminución de la escorrentía y lixiviación de nutrientes (Nyamangara *et al.*, 2003). Así, el uso integrado de fertilizantes químicos y residuos orgánicos reciclados puede mejorar la eficiencia de los primeros y por lo tanto reducir su uso con el fin de mejorar la productividad de los cultivos, así como mantener la salud del suelo y la fertilidad (García-Mendivil *et al.*, 2014). La fertilización combinada ha mostrado los mejores resultados sobre el suelo y los cultivos, comparada con la FC y con la aplicación de AO sin fertilizantes químicos. Demelash *et al.* (2014) reportaron que la aplicación de FC + 8t de compost ha⁻¹ aumentó significativamente el rendimiento del cultivo de trigo, así como el P y Ca intercambiables, la MOS y la CIC, comparados con el suelo con FC; pero estas diferencias no se dieron respecto al pH, K y Mg, lo cual pudo ser a causa de que la cantidad de FC aplicada (34. 5-10 kg N-P ha⁻¹)

no fue tan grande como la que se aplica en cultivos intensivos y no incluyó K y Mg; además de que el contenido de K y Mg del compost aplicado, fue muy bajo (1.2 y 14.6 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$).

Pareek *et al.* (2015), al probar combinaciones de N inorgánico con vermicompost en plantas de mandarina, señalan que el efecto del tratamiento con N 350 g / planta + vermicompost 20 kg / planta fue el mayor respecto a la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo.

En otros experimentos, con la aplicación de AO combinados + FC se han obtenido de resultados diversos, lo cual se debe (entre otros factores) a la variabilidad en la composición y cantidades aplicadas de AO, las propiedades del suelo, las especies cultivadas, las cantidades y tipos de fertilizantes químicos empleados, el sistema productivo y sus interacciones. No obstante, en general, la fertilización combinada mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de incrementar el rendimiento de los cultivos, lo cual no hace la FC sola (Pérez *et al.*, 2008; Hepperly *et al.*, 2009; Zhao y Zhou, 2011; Martínez *et al.*, 2011).

2.8. Aplicación de compost, vermicompost y fertilizantes químicos en el cultivo de jitomate y maíz.

En un estudio realizado en el cultivo de jitomate, los suelos con fertilización combinada (compost + fertilizantes inorgánicos) mostraron mayores valores de C, de biomasa microbiana, respiración basal y actividad deshidrogenasa, en comparación con el tratamiento inorgánico respectivo. El uso conjunto de compost y fertilizantes inorgánicos hizo posible la reducción de la FC en un 40%, mientras que se obtuvieron frutos en similar calidad y cantidad que con la FC al 100%, además de mejorar las características del suelo (Hernández *et al.*, 2014). El uso combinado de la fertilización orgánica y FC, mejoró el efecto sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de jitomate, en comparación con el uso de la FC sola. Cuando los suelos fueron tratados con compost + FC al 60%, los rendimientos de jitomate aumentaron con respecto al

uso de la FC sola (al 60%) los incrementos de rendimiento estuvieron entre el 39% y 21%. El número de frutos por planta siguió un patrón similar al del rendimiento (Hernández *et al.*, 2014). Verma *et al.* (2015) reportaron un incremento de 31,83% en el rendimiento de jitomate con el uso combinado de compost enriquecido con microorganismos benéficos + la mitad de la dosis recomendada de FC (N50-P30-K25 + compost a razón de 5 t ha⁻¹). Del mismo modo, se mejoró la calidad de los frutos en relación con el contenido de licopeno (35,52%), la actividad antioxidante (24-63%) y la actividad de las enzimas de defensa (11-54%) en los tomates en este tratamiento en comparación con la dosis recomendada de fertilizantes. Los parámetros microbiológicos del suelo también mostraron un incremento de 7-31% en las actividades enzimáticas en este tratamiento.

Doan *et al.* (2015) en el cultivo de maíz, registraron que al aplicar FC + AO (estiércol de búfalo, compost y vermicompost) a una tasa de 20 t ha⁻¹, se influyó en las propiedades químicas del suelo en comparación con las propiedades iniciales. Mientras que la adición de AO aumentó el pH del suelo, el tratamiento con FC, lo redujo. Todos los tratamientos con AO también incrementaron significativamente el contenido de C y N del suelo. El efecto fue más significativo con el compost y vermicompost, sin diferencia significativa entre estos dos tratamientos. Los valores más bajos de C y N fueron para la FC al 100%. El P total y el contenido de K total en el suelo fueron mayores en el final del experimento comparado con la medición del inicio. El P disponible en los tratamientos con compost y vermicompost fueron los más altos, luego siguió el que incluyó estiércol de búfalo y el más bajo fue con la FC. La CIC también aumentó significativamente en el orden: vermicompost > Compost = estiércol > FC > situación inicial del suelo. En el suelo tratado con vermicompost aumentó la disponibilidad de agua, más que con el tratamiento con compost y que el tratamiento con FC. En general, la aplicación de compost y vermicompost condujo a la mejora de las propiedades del suelo, con el incremento del pH, MOS y contenido de nutrientes, comparado con el suelo fertilizado con productos químicos sintéticos.

Álvarez-Solís *et al.* (2010) encontraron que el rendimiento de grano de maíz varió de 2152 a 3616 kg ha⁻¹; el valor más bajo fue para la dosis baja de FC sin AO y el más alto para la dosis alta de FC con vermicompost. Con dosis baja de FC el rendimiento aumentó 3.8, 12.7 y 11.5 % con composta, bocashi y vermicompost, respectivamente; mientras que con dosis alta de FC, el incremento fue 17.7, 21.9 y 30.5, respectivamente. La fertilización combinada también tuvo un efecto positivo en la actividad enzimática del suelo y en la colonización micorrízica.

Doan *et al.* (2013b) experimentaron con la rotación de cultivos maíz-tomate-maíz durante un año bajo invernadero, empleando fertilizantes químicos, compost o vermicompost. Observaron que el suelo tratado con FC tuvo el pH más bajo (7.7) y al aplicar FC + AO (20 t ha⁻¹) el suelo quedó con un pH mayor (7.8 con FC + compost y 8.1 con FC + vermicompost); el contenido de P intercambiable (mg kg⁻¹) y K total (%), resultaron mayores en los suelos tratados con FC (86.05 mg kg⁻¹ y 1.46 %), respecto a los que se agregó compost (70.31 mg kg⁻¹ y 1.33 %) o vermicompost (61.95 mg kg⁻¹ y 1.35 %). En las plantas de maíz, al inicio del experimento (ciclo 1) el vermicompost condujo a un rendimiento similar al de la FC, mientras que el rendimiento obtenido con compost, fue inferior; pero durante el experimento, esta influencia benéfica del vermicompost decreció, hasta llegar a ser similar al tratamiento con compost. Esos resultados, cuestionan la pertinencia a largo plazo de usar vermicompost en lugar de compost para el manejo sostenible de la fertilidad del suelo y evidencian la necesidad de definir para cada cultivo, el tipo, cantidad y momento oportuno para aplicar los abonos orgánicos.

III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Justificación

La demanda de alimentos está en constante crecimiento en todo el mundo y para satisfacerla se ha recurrido a la explotación agrícola extensiva e intensiva, muchas veces con el uso excesivo de agroquímicos que dejan residuos contaminantes en los productos agrícolas y generan problemas ambientales como la presencia de compuestos residuales en los suelos agrícolas y en las aguas subterráneas; sumado a esto se realizan otras prácticas agrícolas insostenibles como la labranza excesiva, con lo que se aumenta el rendimiento de los cultivos a expensas de la calidad del suelo. Debido a lo anterior, la degradación de los suelos se ha generalizado a nivel mundial y México no es la excepción, pues también en nuestro país la productividad de los suelos está disminuyendo rápidamente. Para enfrentar dicha problemática, se debe restaurar la fertilidad del suelo en los sistemas agrícolas mediante la reducción de la entrada de insumos externos y la aplicación de materiales orgánicos que mejoren las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El compost y el vermicompost son dos abonos orgánicos que sirven para solucionar los problemas que generan los estiércoles pecuarios y que también se pueden usar como mejoradores de suelo y servir como fuente de nutrientes para las plantas. La aplicación de abonos orgánicos, con el paso del tiempo puede satisfacer las necesidades nutritivas del cultivo de maíz; por lo cual, en este trabajo se compara su crecimiento y rendimiento, teniendo como fuentes de nutrientes a los fertilizantes químicos o a los abonos orgánicos. Para el caso del cultivo de jitomate, por ser una hortaliza que demanda gran cantidad de nutrientes, se hace necesario evaluar la fertilización combinada orgánica e inorgánica, a fin de sostener el rendimiento del cultivo y a la vez amortiguar el efecto negativo que pueden tener los fertilizantes químicos, al disminuir la cantidad en que se aplican al suelo.

3.2. Hipótesis

La aplicación de compost o vermicompost de estiércol de caprino en los cultivos de jitomate y maíz, ayuda a mantener el rendimiento y mejora las propiedades del suelo, en comparación con los cultivos fertilizados convencionalmente.

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo General

Evaluar los efectos de la aplicación de compost ó vermicompost de estiércol de caprino sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos de jitomate y maíz, y sobre las propiedades del suelo.

3.3.1. Objetivos específicos

- a. Evaluar el efecto de la aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (compost o vermicompost de estiércol de caprino) en el crecimiento (longitud de crecimiento y diámetro del tallo) y rendimiento del jitomate; y sobre las propiedades del suelo (densidad aparente, pH, capacidad de intercambio catiónico, C orgánico, N, relación C:N, P, K, Ca y Mg).
- b. Evaluar el efecto de la aplicación de vermicompost de estiércol de caprino sobre el crecimiento (altura de la planta y diámetro del tallo) y rendimiento del maíz.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Metodología general

El trabajo consistió en dos experimentos:

Experimento 1. Evaluación de la aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos + compost o vermicompost de estiércol de caprinos, midiendo sus efectos en el crecimiento y rendimiento del cultivo de jitomate, y sobre las propiedades del suelo.

Experimento 2. Evaluación de la aplicación de vermicompost de estiércol de caprinos, midiendo su efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.

4.2. Materiales y métodos empleados en el cultivo de jitomate

4.2.1. Ubicación y condiciones del experimento

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. El Cid) se desarrolló de noviembre de 2015 a inicios de mayo de 2016, en un invernadero del Rancho Gómez Cambrón, localizado en Godínez Tehuastepec, Valle de Bravo, Estado de México (19° 05' 49" N, 100° 03' 54" O y 2,120 m), con suelo de origen volcánico, clima templado subhúmedo C (W2), precipitación pluvial anual de 1,200 mm y temperatura media anual entre los 18 °C y 22 °C. La humedad ambiental en el invernadero durante el experimento fue de 60 a 90%, la temperatura mínima osciló entre 8 y 12 °C; excepto en enero (que estuvo entre 6 y 9 °C) y la máxima entre 28 y 33 °C. Las plántulas de tomate de 28 días de edad se adquirieron en la empresa Todo Natural, en Santa Magdalena Tiloxtoc, Valle de Bravo. La plantación se efectuó la primera semana de noviembre, en hilera sencilla, con una distancia de 0.25 m entre plantas y de 1.42 m entre hileras, lo que dio una densidad de 2.8 plantas m²; se colocó acholchado plástico. El riego se efectuó con cinta de goteo, realizándose un riego diario entre las 11:00 y 12:00 horas, la ventilación se efectuó

con cortinas de apertura manual. Las plantas se podaron dejando únicamente el tallo principal. Las polinizaciones se hicieron con sopladora, tres veces por semana.

4.2.2. Fuentes de nutrientes

Las fuentes de nutrientes fueron: a) Abonos orgánicos (compost y vermicompost de estiércol de caprinos), b) Fertilizantes químicos y c) El suelo; éste último fue el mismo para todos los tratamientos, lo cual se logró mezclándolo y distribuyéndolo de manera homogénea en toda el área del terreno destinado para el experimento.

Las propiedades del suelo y de los abonos orgánicos que se emplearon, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Propiedades del suelo y de los abonos orgánicos: compost (CC) y vermicompost (VCC) de estiércol de caprinos.

Propiedad	Unidad de medida	Suelo	CC	VCC
Densidad aparente	g cm ⁻³	0.83	---	---
pH	---	6.12	8.57	8.01
Capacidad de intercambio catiónico	cmol kg ⁻¹	17.22	31.24	36.40
Carbono orgánico	%	3.51	31.20	28.86
Nitrógeno total	%	0.32	3.01	3.14
Relación C:N	C/N	11.00	10.37	9.19
Fósforo	mg kg ⁻¹	132.00	457.33	507.59
Potasio	mg kg ⁻¹	247.71	1275.39	1442.76
Calcio	mg kg ⁻¹	1706.32	7178.57	8506.89
Magnesio	mg kg ⁻¹	436.06	1013.37	669.21

Las propiedades del suelo del invernadero y de los abonos orgánicos, se determinaron en laboratorio dos semanas antes de iniciar el experimento, el terreno se dividió en cuatro cuadrantes, y de cada uno de estos se tomó una muestra de suelo, a 20 cm de profundidad. Se determinó la densidad aparente (método de la parafina), pH (potenciómetro HANNA 8521),

capacidad de intercambio catiónico (cloruro de bario), C orgánico (Walkley y Black), N (micro Kjeldahl), relación C:N, P (Bray y Kurtz), K (flamómetro), Ca (método del jabón) y Mg (amarillo titán) . El análisis se efectuó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMEX (Imagen 1).



Imagen 1. Determinación de las propiedades químicas del suelo y de los abonos orgánicos.

La aplicación de los abonos orgánicos se realizó una semana antes del trasplante del tomate y se mezclaron con el suelo a una profundidad de 15 cm (Imagen 2).



Imagen 2. Aplicación de los abonos orgánicos al suelo.

Las dosis de los AO (Cuadro 4) se calcularon para aportar el 25 o el 50% del N requerido por el cultivo de tomate durante 90 días en crecimiento y 60 días en producción (Castellanos *et al.*, 2009). En el tratamiento con FC al 100% todos los riegos contenían solución nutritiva. En los tratamientos con FC al 75% se siguió la secuencia de aplicación de tres riegos con solución nutritiva y uno con sólo agua. En la FC al 50% se aplicó un riego con solución nutritiva y uno con sólo agua, sucesivamente. La fertilización convencional (FC) consistió en la solución nutritiva Steiner, cuyo pH se mantuvo entre 5.5 y 6.2 y su conductividad eléctrica entre 1.8 y 2.5

dS m⁻¹. Las cantidades de nutrimentos suministrados mediante la FC, se pueden ver en el cuadro 5.

Cuadro 4. Dosis de compost (CC) y vermicompost (VCC) de estiércol de caprino.

Fuente	Dosis 1		Dosis 2	
	Aporte de N (%)	(kg m ⁻²)	Aporte de N (%)	(kg m ⁻²)
CC	25 [†]	1.26	50 [†]	2.52
VCC	25 [†]	1.16	50 [†]	2.32

[†]Este es el % de N que aporta cada fuente, respecto al total de N requerido por el cultivo.

Cuadro 5. Cantidad de nutrimentos (g m²) correspondiente a cada nivel de fertilización convencional (FC).

Nivel de FC (%)	N	P	K	Ca	Mg
	----- g m ⁻² -----				
100	50.34	7.02	73.70	48.56	12.43
75	37.76	5.27	55.28	36.42	9.33
50	25.17	3.51	36.85	24.28	6.22

4.2.3. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: T1) FC al 100%; T2) FC al 75% + CC en la dosis 1; T3) FC al 75% + VCC en la dosis 1; T4) FC al 50% + CC en la dosis 2; T5) FC al 50% + VCC en la dosis 2. La unidad experimental consistió en una cama de cultivo de 0.8 m de ancho y 4 m de largo, con 16 plantas y la parcela útil fueron las 12 plantas centrales. Para los tratamientos se tomó como referencia la aportación de N de las fuentes orgánicas e inorgánicas, debido a que es un elemento limitante en los cultivos por su alta movilidad (Pareek *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2014).

4.2.4. Variables evaluadas

Variables del cultivo

Se evaluó la longitud de crecimiento (LC), diámetro de tallo (DT) y rendimiento. La LC y el DT se midieron utilizando la metodología propuesta por Castellanos *et al.* (2009), esto durante cuatro etapas de crecimiento de 30 días cada una: 1-30, 31-60, 61-90 y 91-120 días después del trasplante (ddt). El rendimiento se midió por tres periodos de 21 días cada uno: 1-21, 22-42 y 43-63 días a partir de la primera cosecha (da1c).

La LC de las plantas se determinó durante cada periodo de 30 días, midiendo la altura de las plantas en el último día del periodo (Imagen 3) y restando la altura que tenían en el primer día del periodo. La LC total resultó de la suma de la LC de los cuatro periodos.



Imagen 3. Medición de la longitud de crecimiento.

El DT se determinó el último día de cada periodo de 21 días, midiendo el tallo por su perfil más delgado, usando un vernier marca GENERAL (Imagen 4). El punto de medición se ubicó tomando como referencia el ápice de la planta, de allí hacia abajo se descontó el crecimiento que en promedio tuvo la planta semanalmente durante el periodo de medición. El DT promedio se obtuvo promediando el DT de los cuatro periodos.



Imagen 4. Medición del diámetro del tallo.

El rendimiento se obtuvo por unidad experimental y se calculó el promedio por planta (en kg) durante cada periodo de 21 días (Imagen 5). El rendimiento total por planta se obtuvo sumando el rendimiento obtenido durante los tres periodos. La cosecha se hizo una o dos veces por semana (en función de la madurez de los frutos). La primera cosecha se efectuó el dos de marzo, haciendo un total de 14 cosechas durante nueve semanas.



Imagen 5. Cosecha y medición del rendimiento de jitomate.

Variables del suelo

Las muestras de suelo se tomaron al finalizar el experimento, a 20 cm de profundidad, una por cada parcela experimental (cuatro muestras de cada tratamiento), se determinó la densidad aparente (método de la parafina), pH (potenciómetro HANNA 8521), capacidad de intercambio catiónico (cloruro de bario), C orgánico (Walkley y Black), N (micro Kjeldahl), relación C:N, P

(Bray y Kurtz), K (flamómetro), Ca (método del jabón) y Mg (amarillo titán). El análisis de laboratorio se efectuó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMEX (Imagen 6).



Imagen 6. Análisis químico del suelo. A) Centrifugado, B) Medición de pH.

4.2.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron en el programa JMP versión 10, el ANDEVA se hizo con el modelo lineal general y cuando hubo diferencias, se aplicó la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis de la LC y DT se llevó a cabo para cada periodo de 30 días, también se analizaron la LC total y el DT promedio. El rendimiento se analizó por periodos de 21 días, también se analizó el rendimiento total por planta.

4.3. Materiales y métodos empleados en el cultivo de maíz

4.3.1. Ubicación y condiciones del experimento

El experimento se llevó a cabo en una parcela de cultivo a cielo abierto, ubicada en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, localizado en el municipio de San Simón de Guerrero, en la región subtropical en el Sureste del Estado de México a $100^{\circ}6'27''$ O y $19^{\circ}2'8''$ N, a 1800 msnm, con clima templado subhúmedo C (W2), precipitación pluvial anual de 1,200 mm y temperatura media anual entre los 18 °C y 22 °C. El cultivo de maíz criollo (*Zea*

mays L.) se estableció de fines de junio a mediados de diciembre de 2015, en temporada de lluvias. La siembra se hizo en surcos, colocando dos semillas por mata, con una distancia entre surcos de 0.9 m y entre matas de 0.25 m, para tener una densidad de población de 88 800 plantas ha⁻¹. El control de hierbas se hizo con azadón.

4.3.2. Fuentes de nutrientes

Las fuentes de nutrientes fueron: a) vermicompost de estiércol de caprinos (VCC), b) fertilizantes químicos y c) el suelo. Las propiedades del suelo y del vermicompost que se empleó, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Propiedades del suelo y del vermicompost (VCC) de estiércol de caprino.

Propiedad	Unidad de medida	Suelo	VCC
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.05	---
pH	---	4.36	8.01
Capacidad de intercambio catiónico	cmol kg ⁻¹	13.02	36.40
Carbono orgánico	%	1.40	28.86
Nitrógeno total	%	0.11	3.14
Relación C:N	C/N	12.72	9.19
Fósforo	mg kg ⁻¹	25.03	507.59
Potasio	mg kg ⁻¹	58.02	1442.76
Calcio	mg kg ⁻¹	562.30	8506.89
Magnesio	mg kg ⁻¹	196.34	669.21

Las propiedades del suelo y de los abonos orgánicos, se determinaron en laboratorio dos semanas antes de iniciar el experimento, el terreno se dividió en cuatro cuadrantes, y de cada uno de estos se tomó una muestra de suelo, a 20 cm de profundidad. Se determinó la densidad aparente (método de la parafina), pH (potenciómetro HANNA 8521), capacidad de intercambio catiónico (cloruro de bario), C orgánico (Walkley y Black), N (micro Kjeldahl), relación C:N, P

(Bray y Kurtz), K (flamómetro), Ca (método del jabón) y Mg (amarillo titán) . El análisis de laboratorio se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMEX (Imagen 7).



Imagen 7. Determinación de N.

La aplicación del vermicompost se realizó en tres momentos, a) una semana antes de la siembra del maíz (se mezcló con el suelo a una profundidad de 15 cm), b) en el primer aporque, 45 días después de la siembra y c) en el segundo aporque, 75 días después de la siembra (Imagen 8).



Imagen 8. Aplicación de vermicompost al cultivo de maíz.

La fertilización convencional (FC) se realizó con 120 kg de nitrógeno ha^{-1} , 80 kg de fósforo ha^{-1} y 30 kg de potasio ha^{-1} (120N–60P–30K): se aplicó 50% de nitrógeno y la totalidad de fósforo y potasio en la siembra y el nitrógeno restante se incorporó al suelo con la segunda labor cultural.

4.3.3. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: T1) FC al 100%, T2) VCC (1.5 kg m²) y T3) VCC (3 kg m²). La unidad experimental consistió en una parcela de 1.4 m de ancho y 6 m de largo, con 2 surcos cada parcela y como parcela útil se consideró a las plantas de los 4 metros centrales.

4.3.4. Variables evaluadas

Altura de la planta. Se determinó midiendo desde el nivel del suelo, hasta el ápice de la espiga de la planta (Imagen 9).



Imagen 9. Medición de la altura de la planta.

Diámetro del tallo. Se determinó midiendo el tallo por su perfil más delgado, usando un vernier marca GENERAL. El punto de medición se ubicó 4 cm arriba del nivel del suelo (imagen 10).



Imagen 10. Medición del diámetro del tallo.

La altura de la planta y el diámetro del tallo se midieron a mediados de noviembre, cuando las plantas ya habían terminado de crecer (Imagen 11).



Imagen 11. Plantas de maíz en la etapa de finalización de su crecimiento.

Rendimiento. Se obtuvo por unidad experimental, y se calculó el rendimiento en kg ha^{-1} . La cosecha se efectuó a mediados de diciembre, cuando las mazorcas ya estaban secas

4.3.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron en el programa JMP versión 10, el ANDEVA se hizo con el modelo lineal general y cuando hubo diferencias, se aplicó la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

V. RESULTADOS

5.1. Recepción y asignación de clave para revisión del artículo, por la revista Agrocienza



The screenshot shows a Gmail interface. At the top, there's a navigation bar with 'Gmail' and various icons. Below that, a red 'REDACTAR' button is visible. The left sidebar lists folders like 'Recibidos (16)', 'Destacados', 'Importantes', 'Enviados', 'Borradores (32)', 'Personal', 'Viaje', and 'Más'. A contact card for 'Juan Jose' is shown. The main content area displays an email from 'Francisca Aviles' sent at 13:29 (1 day ago). The email body contains the following text:

El Lunes, 29 de mayo, 2017 13:25:01, Agrocienza Colpos <agrocienza14@gmail.com> escribió:

Le comunico que su manuscrito fue recibido en Agrocienza para la revisión inicial previa al proceso de arbitraje y se le asignó la clave: 17-162

Título: USO DE COMPOST Y VERMICOMPOST DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO COMBINADOS CON FERTILIZANTES INORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE TOMATE.

Autores: Juan José Hernández Terrón, Rodolfo Serrato Cuevas, Octavio Alonso Castelán Ortega, Francisca Avilés Nova.

Agradezco su interés por publicar en Agrocienza y le saludo atentamente.

Sergio S. González Muñoz
Director de Agrocienza

5.2. Artículo enviado a la revista: “Uso de compost y vermicompost de estiércol de caprino combinados con fertilizantes inorgánicos para la producción sostenible de tomate”

**USO DE COMPOST Y VERMICOMPOST DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO
COMBINADOS CON FERTILIZANTES INORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE DE TOMATE**

USE OF COMPOST AND VERMICOMPOST OF GOAT MANURE COMBINEDS WITH
INORGANIC FERTILIZERS BY TOMATO SUSTAINABLE PRODUCTION

Juan José Hernández Terrón¹, Rodolfo Serrato Cuevas², Octavio Alonso Castelán Ortega³,

Francisca Avilés Nova^{1*}

RESUMEN

El reciclado de estiércoles pecuarios como abonos orgánicos (AO), ayuda a mejorar el rendimiento de los cultivos y la fertilidad del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (compost: CC y vermicompost: VCC de estiércol de caprinos) sobre el crecimiento y rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y en las propiedades del suelo. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Tratamientos: T1) Fertilización convencional (FC) al 100%; T2) FC al 75%+CC; T3) FC al 75%+VCC; T4) FC al 50%+CC y T5) FC al 50%+VCC. En invernadero se evaluaron la longitud de crecimiento (LC), diámetro de tallo (DT), rendimiento del cultivo y las propiedades del suelo. El análisis de datos se hizo con ANDEVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Con T2, T3, T4 y T5, la LC fue mayor que con T1. El rendimiento de T1 fue similar al de T2 y T3, durante 63 d y al de T4 y T5, durante 42 d. El pH del suelo en T4 y T5 resultó mayor que en T1, 3.4 y 3.2 %; la capacidad de intercambio catiónico en T4 y T5

fue mayor que en T1, 14 y 15 %. El contenido de P del suelo en T1 fue superior que en T4 y T5, 12 y 11%; T1 tuvo un contenido mayor de K, comparado con T4 y T5, en 17 y 15%. El análisis de resultados sugiere que al aplicar AO se puede reducir la FC y sostener el rendimiento de tomate por un periodo cuya duración depende de la magnitud de la disminución de la FC. Además, se amortigua el efecto de la FC sobre algunas propiedades del suelo.

Palabras clave: Compost, vermicompost, fertilización combinada, sostenible, *Lycopersicum esculentum* Mill.

INTRODUCCIÓN

La fertilidad del suelo es importante para la salud de los cultivos, los animales y los seres humanos que en él se sustentan (Lampkin, 1998). Las estrategias comunes del manejo del suelo dependen principalmente de la fertilización química convencional (FC), lo cual amenaza la salud humana y el ambiente (Bhardwaj *et al.*, 2014), ocasionando la degradación del suelo, especialmente en los cultivos intensivos sin prácticas efectivas de conservación del suelo (Hernández *et al.*, 2014). El reciclado de estiércoles pecuarios, usados como abonos orgánicos (AO) como el compost y el vermicompost, ayuda a mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, incrementa el carbono orgánico (CO), los nutrientes del suelo y la actividad microbiana, siendo útil para sostener el potencial productivo del suelo y reducir el impacto negativo de la agricultura sobre la calidad del suelo y del agua (Hepperly *et al.*, 2009; Thangarajan *et al.*, 2013; Demelash *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2016;).

El tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) es una hortaliza importante a nivel mundial y exige altas cantidades de nutrientes para su cultivo. En México hay horticultores que han mantenido el cultivo de tomate en el suelo por más de 7 años, sin disminución del rendimiento, utilizando AO+FC, con la reducción de la FC (Castellanos *et al.*, 2009).

El compost integrado al suelo ha mostrado efectos positivos en el crecimiento y rendimiento de los cultivos (García-Mendivil *et al.*, 2014; Doan *et al.*, 2015). Además, el uso de AO puede reducir la FC (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008; Verma *et al.* 2015) y al mismo tiempo elevar el contenido de nutrientes de las plantas (Shankar *et al.*, 2012). El vermicompost mostró mayor efecto que el compost, sobre el rendimiento de trigo (Kizilkaya *et al.*, 2012) y en los cultivos de frijol y maíz sometidos a déficit de agua (Aguilar *et al.* 2012; Doan *et al.*, 2015). El vermicompost mezclado con suelo en varias proporciones se aplicó al cultivo de tomate, teniendo el mayor rendimiento y altura de las plantas en la proporción de 1:1 (Abduli *et al.*, 2013).

Sin embargo, la aplicación sola de AO en el cultivo de tomate en ocasiones no incrementa el rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2008; Cruz-Lázaro *et al.*, 2009; Mueller *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2014), debido a que no cubren las necesidades nutrimentales. Álvarez-Solís *et al.* (2010); Demelash *et al.*, (2014) y Doan *et al.*, (2015) proponen emplear AO + FC como alternativa para mejorar la eficiencia nutrimental, mantener el rendimiento, mejorar las propiedades del suelo y reducir la FC. En el cultivo de tomate, el suelo tratado con compost + FC mostró mayor biomasa microbiana, C, respiración basal y actividad deshidrogenasa respecto al tratamiento inorgánico. La FC se redujo cerca de un 40%, manteniendo frutos con calidad y en cantidad similar a los del tratamiento con FC al 100% (Hernández *et al.*, 2014).

Los beneficios observados al aplicar AO, alientan a profundizar en las relaciones entre el uso de AO, la FC, las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos. En el cultivo de tomate se han estudiado algunos tipos de AO elaborados con diferentes sustratos, sin embargo, existen pocos trabajos que reporten el uso del compost y vermicompost a base de estiércol de caprino, por lo que es conveniente evaluarlos bajo diferentes dosis de FC + AO. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de fertilizantes

químicos con compost o vermicompost de estiércol de caprino, sobre el crecimiento y rendimiento del tomate y en las propiedades del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo de tomate (*Lycopersicon sculemtum* Mill. var. El Cid) se desarrolló de noviembre de 2015 a inicios de mayo de 2016, en un invernadero del Rancho Gómez Cambrón, localizado en Godínez Tehuastepec, Valle de Bravo, Estado de México (19° 05' 49'' N, 100° 03' 54'' O y 2,120 m), clima templado subhúmedo C (W2), precipitación pluvial anual de 1,200 mm y temperatura media anual entre los 18 °C y 22 °C. La humedad ambiental en el invernadero durante el experimento fue de 60 a 90%, la temperatura mínima osciló entre 6 y 12 °C y la máxima entre 28 y 33 °C. Las plántulas de tomate de 28 días de edad se adquirieron en la empresa Todo Natural, en Valle de Bravo. La plantación se efectuó con acolchado plástico, en hilera sencilla con una distancia entre plantas de 0.25 m y entre hileras de 1.42 m (densidad de 2.8 plantas m²). El riego se efectuó con cinta de goteo (un riego diario entre las 11:00 y 12:00 hr). La ventilación se hizo con cortinas de apertura manual. Las plantas se podaron dejando solo el tallo principal. Las polinizaciones se hicieron con sopladora, tres veces por semana.

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: T1) FC al 100%; T2) FC al 75% + CC dosis uno; T3) FC al 75% + VCC dosis uno; T4) FC al 50% + CC dosis dos; T5) FC al 50% + VCC dosis dos. La unidad experimental consistió en una cama de cultivo (0.8 m de ancho y 4 m de largo) con 16 plantas y como parcela útil se consideraron 12 plantas centrales. En los tratamientos se tomó como referencia la aportación de N de las fuentes orgánicas e inorgánicas, debido a que el N es un elemento limitante en los cultivos por su alta movilidad (Pareek *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2014). Las dosis 1 y 2 de los

AO (Cuadro 1) se calcularon para aportar el 25 al 50% del N requerido por el cultivo de tomate durante 90 d en crecimiento y 60 d en producción (Castellanos *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Dosis de compost (CC) y vermicompost (VCC) elaborado con estiércol de caprinos y *Eisenia foetida*.

Abono orgánico	Dosis uno		Dosis dos	
	Aporte de N (%) [†]	(kg m ⁻²)	Aporte de N (%) [†]	(kg m ⁻²)
CC	25	1.26	50	2.52
VCC	25	1.16	50	2.32

[†]Este es el % de N que aporta la fuente, respecto al total de N requerido por el cultivo.

Las propiedades del suelo y de los AO que se emplearon, se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades del suelo y de los abonos orgánicos: compost (CC) y vermicompost (VCC) de estiércol de caprinos.

Propiedad	Unidad de medida	Suelo	CC	VCC
Densidad aparente	g cm ⁻³	0.83	---	---
pH	—	6.12	8.57	8.01
Capacidad de intercambio catiónico	cmol kg ⁻¹	17.22	31.24	36.40
Carbono orgánico	%	3.51	31.20	28.86
Nitrógeno total	%	0.32	3.01	3.14
Relación C:N	C/N	11.00	10.37	9.19
Fósforo	mg kg ⁻¹	132.00	457.33	507.59
Potasio	mg kg ⁻¹	247.71	1275.39	1442.76
Calcio	mg kg ⁻¹	1706.32	7178.57	8506.89
Magnesio	mg kg ⁻¹	436.06	1013.37	669.21

Los abonos orgánicos (AO) se aplicaron al suelo una semana antes del trasplante del tomate y se mezclaron a una profundidad de 15 cm. La FC consistió en la solución nutritiva Steiner, cuyo pH se mantuvo entre 5.5 y 6.2 y su conductividad eléctrica entre 1.8 y 2.5 dS m⁻¹. En la FC al 100% todos los riegos contenían solución nutritiva; en la FC al 75% se siguió la secuencia de aplicación de tres riegos con solución nutritiva y uno con sólo agua; en la FC al 50% se aplicó un riego con solución nutritiva y uno con sólo agua, sucesivamente. Las cantidades de nutrimentos suministrados mediante la FC, se pueden ver en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cantidad de nutrimentos (g m⁻²) correspondiente a la fertilización convencional (FC) en cada nivel.

FC (%)	N	P	K	Ca	Mg
	g m ⁻²				
100	50.34	7.02	73.70	48.56	12.43
75	37.76	5.27	55.28	36.42	9.33
50	25.17	3.51	36.85	24.28	6.22

Variables evaluadas

Variables del cultivo

Las variables evaluadas fueron longitud de crecimiento (LC), diámetro de tallo (DT) y rendimiento de frutos. La LC y el DT se midieron después del trasplante (ddt) durante cuatro etapas de crecimiento de 30 d cada una (1-30, 31-60, 61-90 y 91-120 d), usando metodología propuesta por Castellanos *et al.* (2009).

En la LC se midió la altura de las plantas en el último día del periodo y se restó la altura que tenían en el primer día del periodo. La LC total resultó de la suma de la LC de los cuatro periodos.

El DT se determinó midiendo el tallo por su perfil más delgado, usando un vernier marca GENERAL el último día de cada periodo. El punto de medición se ubicó tomando como referencia el ápice de la planta, y de este hacia abajo se descontó el promedio de crecimiento que tuvo la planta semanalmente durante el periodo de medición. El DT promedio se obtuvo promediando el DT de los cuatro periodos.

El rendimiento se midió por tres periodos de 21 d cada uno: 1-21, 22-42 y 43-63 d a partir de la primera cosecha (da1c). El rendimiento se obtuvo por unidad experimental y se calculó el promedio por planta (kg) para cada periodo. El rendimiento total por planta se obtuvo sumando los tres periodos. La cosecha se hizo una o dos veces por semana en función de la madurez de los frutos. La primera cosecha se efectuó el dos de marzo y se realizaron 14 cosechas durante nueve semanas.

Variables del suelo

Al finalizar el experimento, en cada parcela experimental se tomó al azar una muestra (cuatro muestras de cada tratamiento) de suelo a 20 cm de profundidad, a cada una se le determinó densidad aparente (método de la parafina), pH (potenciómetro HANNA 8521), capacidad de intercambio catiónico (cloruro de bario), C orgánico (Walkley y Black), N (micro Kjeldahl), relación C:N, fósforo (Bray y Kurtz), K (flamómetro), Ca (método del jabón) y Mg (amarillo titán). El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron en el programa JMP versión 10, el ANDEVA se hizo con el Modelo General Lineal y cuando hubo diferencias, se aplicó la prueba Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis de los datos de LC y DT se realizó en cada periodo de 30 d, también se analizaron la LC total y el DT promedio. El rendimiento se analizó en cada periodo de 21 d y el rendimiento total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la longitud de crecimiento total y diámetro de tallo promedio

La LC total en las plantas bajo los tratamientos con FC al 75 % (T2 y T3), fue mayor que con FC al 100 %, 14 y 17 %, respectivamente (figura 1); lo cual pudo ser debido a que la reducción de la FC fue relativamente baja y a que los AO mejoraron el crecimiento de las plantas, a causa de que estimulan la actividad microbiana del suelo y la mineralización de nutrientes, además de aportar materia orgánica, nutrientes, vitaminas, hormonas y enzimas promotoras del crecimiento vegetal (Thangarajan *et al.*, 2013; Doan *et al.*, 2013a; Doan *et al.*, 2015). Sin embargo, al aplicar la FC reducida al 50%+AO (T4 y T5), no se detectó mejoría respecto a la FC100, a pesar de que en T4 y T5 los AO se aplicaron en las cantidades más altas (dosis dos). Esto pudo deberse a deficiencias en la nutrición, debidas a la drástica reducción de la FC (50 %) y a que los nutrientes de los AO (particularmente el N) se vuelven disponibles para las plantas de forma paulatina (Weil y Magdoff, 2004; Jouquet *et al.*, 2011). El diámetro de tallo promedio no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos.

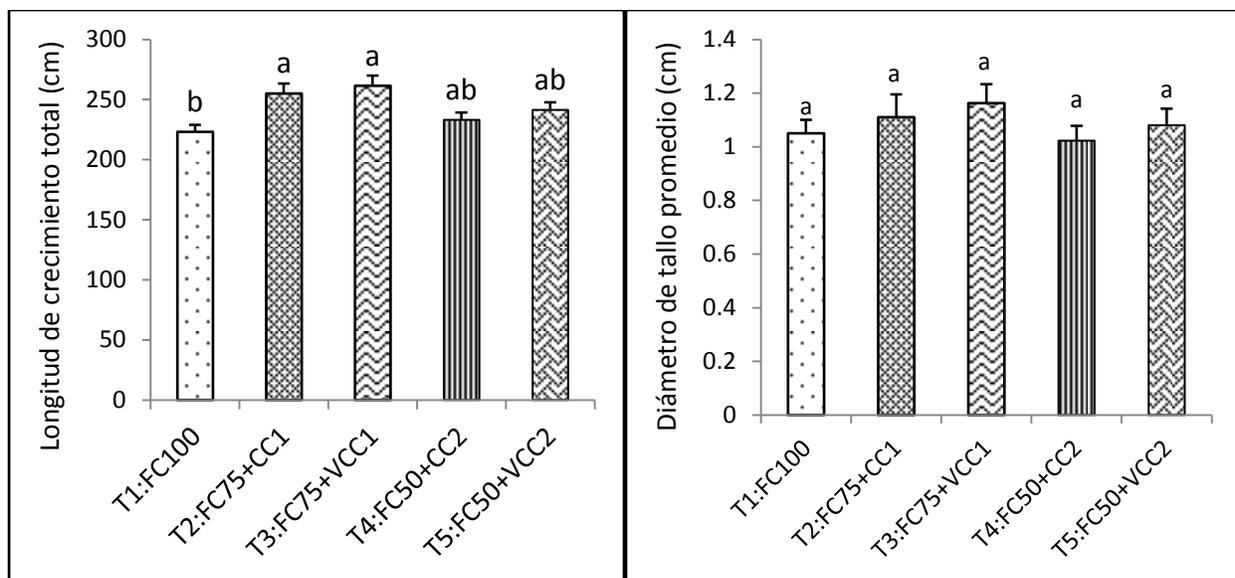


Figura 1. Longitud de crecimiento total y diámetro de tallo promedio de plantas de tomate (\pm error estándar de la media) 120 días después del trasplante.

Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$); FC100, FC75 y FC50= Fertilización convencional al 100, 75 y 50%, respectivamente; CC1 y VCC1 = compost y vermicompost en la dosis uno (1.26 y 1.16 kg m^{-2}); CC2, VCC2= compost y vermicompost en la dosis dos (2.52 y 2.32 kg m^{-2}).

Análisis de longitud de crecimiento y diámetro de tallo por periodos

Primer periodo (1-30 ddt). El DT en los tratamientos con CC, fue similar a FC100 (T1); mientras que cuando se incluyó el VCC (T3 y T5), el DT fue mayor que el de T1, en 20 %, (figura 2). Lo anterior pudo ser a causa de que el VCC a su paso por el tracto digestivo de las lombrices, adquiere vitaminas, hormonas y enzimas promotoras del crecimiento vegetal (Doan *et al.*, 2013a; Doan *et al.*, 2015). Sin embargo, Lazcano *et al.* (2009) observaron un crecimiento significativo de plántulas de tomate al aplicar compost en dosis bajas (20 y 30 %) y vermicompost en dosis altas (50, 75 y 100 %), en mezclas con sustrato comercial; esos resultados pudieron deberse a que con las dosis bajas de compost, el mayor efecto fue causado por el sustrato comercial y en las dosis altas de vermicompost, este generó el mayor efecto.

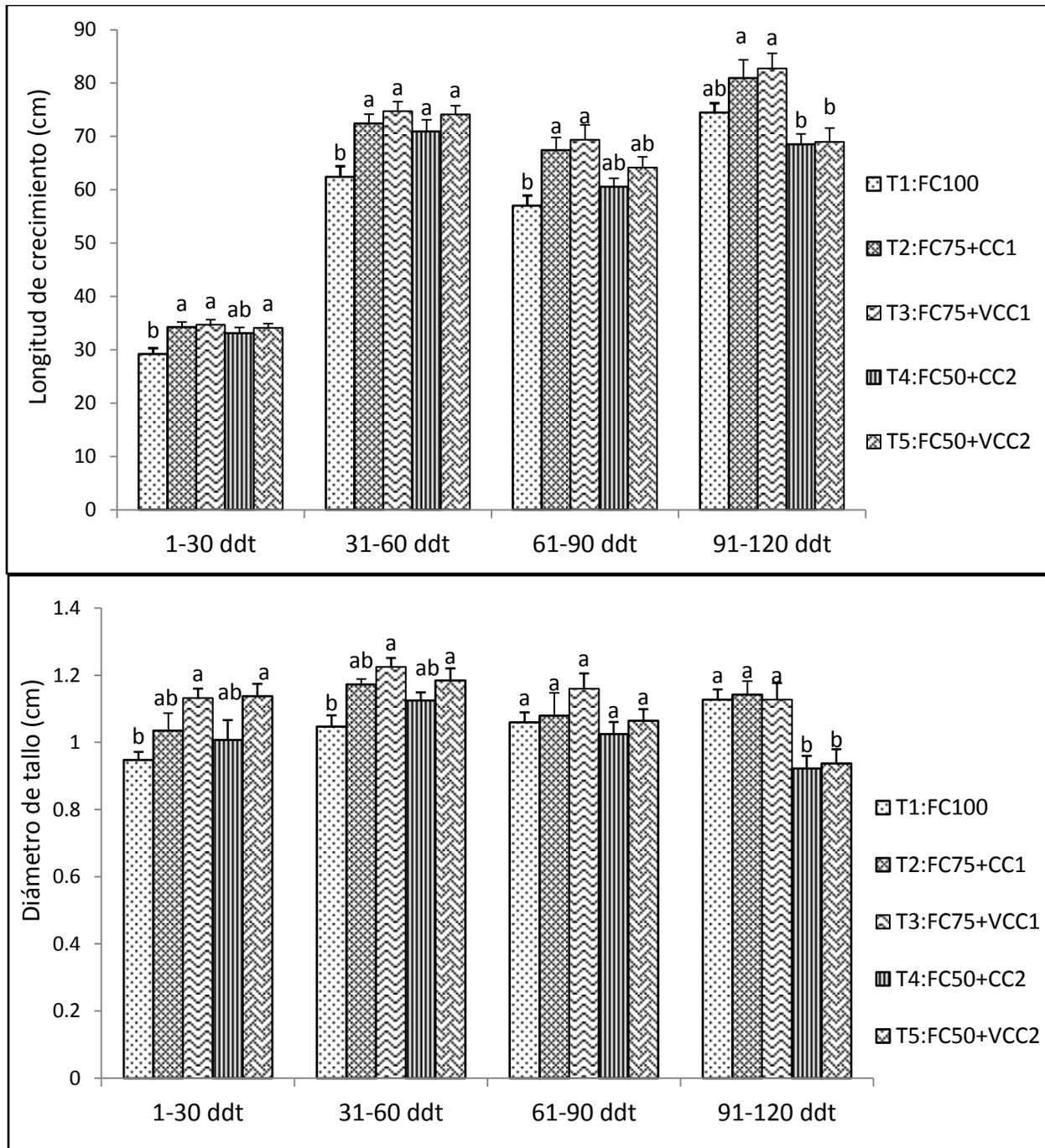


Figura 2. Longitud de crecimiento y diámetro de tallo de plantas de tomate (\pm error estándar de la media), medidos por periodos de 30 días.

ddt= días después del trasplante. Letras diferentes en las barras dentro de cada periodo, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). FC100, FC75 y FC50= Fertilización convencional al 100, 75 y 50 %; CC1 y VCC1 = compost y vermicompost en la dosis uno (1.26 y 1.16 kg m^2); CC2 y VCC2= compost y vermicompost en la dosis dos (2.52 y 2.32 kg m^2).

Segundo periodo (31-60 ddt). La LC de las plantas se incrementó con la aplicación de AO (T2, T3, T4 y T5) en comparación con la FC100, 16, 20, 14 y 19 %, respectivamente. En este periodo el T4 fue superior al T1, lo que pudo deberse a que el CC ya tenía más de un mes en el suelo, lo que permitió avanzar los procesos de mineralización que vuelven disponibles los nutrientes, que a su vez fueron tomados más fácilmente por plantas, cuyas raíces seguían creciendo.

Tercer periodo (61-90 ddt). Las plantas de T2 y T3 mantuvieron mayor LC que las de T1 (18 y 22 %, respectivamente). La LC y DT se redujeron en todos los tratamientos, posiblemente debido a que en este periodo se presentaron las temperaturas más bajas (Castellanos *et al.*, 2009).

Cuarto periodo (91-120 ddt). La LC con la FC al 75% fue superior que con la FC al 50% (con T2 fue 18 y 17 % mayor y con T3, 21 y 20 % mayor que con T4 y T5, respectivamente). Con la FC alta (T1, T2 y T3) el DT fue superior que con la FC baja (T4 y T5), en % que oscilaron entre 20 y 24. Lo anterior pudo ser a causa de la limitación nutrientes en los T4 y T5, ya que en este cuarto periodo las exigencias nutrimentales de la planta eran mayores, debido a que presentaban cuatro racimos de frutos en crecimiento, a pesar de que el cálculo de aportación de N para todos los tratamientos se hizo en base a la dosis recomendada para mantener las plantas tres meses en crecimiento y dos meses en producción, no se pudo considerar que la etapa de crecimiento del cultivo se alargó un mes a causa de las bajas temperaturas invernales presentes durante el experimento, además de que una parte de los nutrientes de los AO (incluido el N) son disponible para las plantas hasta el segundo o tercer año después de su aplicación al suelo (Weil y Magdoff, 2004; Jouquet *et al.*, 2011).

En los periodos 1-30 y 1-60 ddt, la aplicación de VCC+FC generó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de DT, respecto a la FC100; mientras que en con CC+FC, no las hubo. Las diferencias entre los tratamientos con VCC y los que incluyeron CC, dejaron de manifestarse en periodos

posteriores. Esto puede relacionarse con el consumo del CC por parte las lombrices nativas del suelo, que lo transformaron en VCC. Al respecto, Doan *et al.* (2013b) reportaron que las lombrices nativas influyeron en el crecimiento y rendimiento de maíz y tomate: su efecto fue nulo en el maíz en su primer ciclo, positivo en el tomate y negativo para el maíz en su segundo ciclo. La diversidad de resultados es debida a que existen complejas interacciones entre el suelo, los AO, la FC, las lombrices endógenas y el crecimiento vegetal (Doan *et al.*, 2013a).

Análisis del rendimiento total

El rendimiento total con FC75 fue similar que con FC100, y este último fue mayor (22%) que con FC50 + CC y mayor (19%) que FC50 + VCC (figura 3). Entre los tratamientos que contenían AO no se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Martínez *et al.*, (2011) obtuvieron un rendimiento similar entre la fertilización combinada y la FC de tomate. Hernández *et al.* (2014), utilizaron dos tipos de compost: 1) de estiércol de ovinos y caprinos (50.5 t ha^{-1}) y 2) de estiércol de bovinos + alperujo + follaje de olivo (40 t ha^{-1}), y los combinaron con FC al 60 y 20%. Los tratamientos con FC al 60% + compost, tuvieron un rendimiento similar al obtenido con la FC al 100% (5.6 kg/planta). Los tratamientos con un 20% de FC + compost, tuvieron 2.95 y 3.1 kg/planta. Esos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo y sugieren que hay limitación de nutrientes en las tasas más bajas de FC.

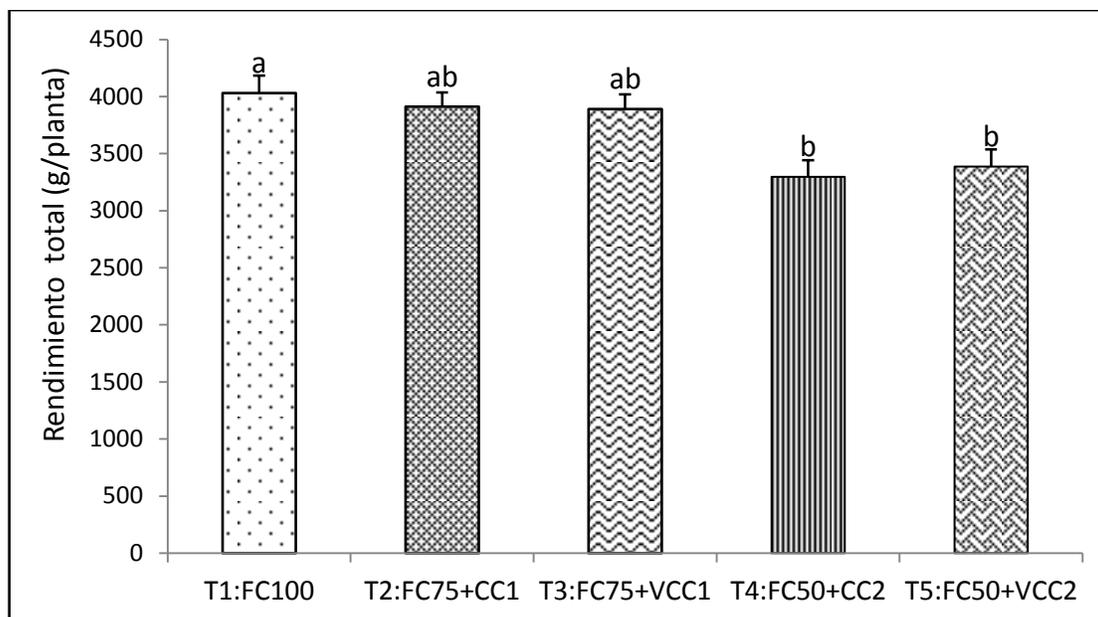


Figura 3. Rendimiento total de tomate (\pm error estándar de la media) 63 días a partir de la primera cosecha. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$); FC100, FC75 y FC50= Fertilización convencional al 100, 75 y 50%, respectivamente; CC1 y VCC1 = compost y vermicompost en la dosis uno (1.26 y 1.16 kg m^2); CC2, VCC2= compost y vermicompost en la dosis dos (2.52 y 2.32 kg m^2).

No obstante, Verma *et al.* (2015), observaron que con la FC al 50% + Compost (5 t ha^{-1}) el rendimiento de tomate fue mayor que al aplicar Compost (10 t ha^{-1}), y éste fue mayor que con la FC al 100%; lo cual pudo deberse a que el compost se complementó con microorganismos benéficos y el tomate cultivado fue de una variedad de campo abierto, menos exigente de nutrientes que las variedades para invernadero (Ojodeagua *et al.*, 2008). También se ha reportado mayor rendimiento de tomate en la medida que se aumentan la cantidad de AO aplicadas (Atiyeh *et al.*, 2000a, Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007; Azarmi *et al.*, 2008; Abduli, *et al.*, 2013; Najar y Khan, 2013). Sin embargo, Villarreal-Romero *et al.* (2010), al emplear labranza mínima, cobertura vegetal y FC al 50% + vermicompost en dosis de 2, 4 o 6 ton ha^{-1} , registraron el rendimiento más alto de tomate con la dosis intermedia de vermicompost (4 ton ha^{-1}). Lo anterior

muestra que los resultados de la fertilización combinada dependen de la influencia de los factores que se incluyan y su sinergia.

Análisis del rendimiento por periodos

Primer periodo (1-21 días da1c). El T3 tuvo un rendimiento 28 % mayor que T4 (figura 4). Esto sugiere que la aplicación de una alta dosis de FC (75%) + VCC, mejora el rendimiento al inicio de la cosecha y que una dosis baja de FC (50%) + CC, lleva a un bajo rendimiento inicial. Lo anterior puede estar ligado a que los primeros frutos del T3 maduraron tres días antes que los frutos del resto de los tratamientos, lo que indica que la FC 75% y VCC 25% aportaron una adecuada cantidad de nutrientes, sumados a los aportes del suelo y del vermicompost, que es rico en vitaminas, enzimas, hormonas y ácidos húmicos benéficos para las plantas y capaces de acelerar el ciclo productivo de los cultivos (Atiyeh *et al.*, 2000b; Arancon *et al.*, 2003; Arancon *et al.*, 2008; Ngo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2015). El efecto positivo del vermicompost de estiércol de oveja fue registrado por Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007), que al cultivar plantas de tomate emplearon diferentes mezclas de vermicompost: suelo (0:1, 1:5, 1:4, 1:3, 1:2, 1:1) y 100 días después del trasplante observaron que el rendimiento fue mayor en las mezclas 1:1, 1:2 y 1:3. Otros autores reportaron resultados similares (Azarmi *et al.*, 2008; Abduli, *et al.*, 2013; Najar y Khan, 2013).

Segundo periodo (22-42 da1c). Durante este periodo se presentó el pico productivo de frutos y no se observaron diferencias significativas de rendimiento entre los tratamientos.

Tercer periodo (43-63 da1c). En este periodo T1, T2 y T3 mostraron rendimiento similar y superior a T4 y T5 (oscilando entre 15 y 19 %). Lo cual muestra que la combinación de una dosis baja de FC (50%) + AO condujo la caída del rendimiento. Por otra parte, se observó que en esta etapa todos los tratamientos redujeron su rendimiento respecto al periodo 1 y 2, lo cual pudo ser

ocasionado por una disminución de la polinización, debido a las bajas temperaturas de enero y a la curva de producción del tomate.

Doan *et al.* (2013b) fertilizaron maíz (2 ciclos) y tomate (1 ciclo), utilizando FC, compost o vermicompost, en las plantas de maíz, al inicio del experimento (ciclo 1) el vermicompost condujo a un rendimiento similar al de la FC, mientras que el rendimiento obtenido con compost, fue inferior; sin embargo, el efecto del vermicompost en el rendimiento decreció, hasta llegar a ser similar al tratamiento con compost. Este comportamiento es similar a los resultados de este estudio con lo cual se cuestionan la pertinencia de usar vermicompost a largo plazo en lugar de compost para el manejo sostenible de la fertilidad del suelo y evidencian la necesidad de definir para cada cultivo, el tipo, cantidad y momento oportuno para aplicar los AO.

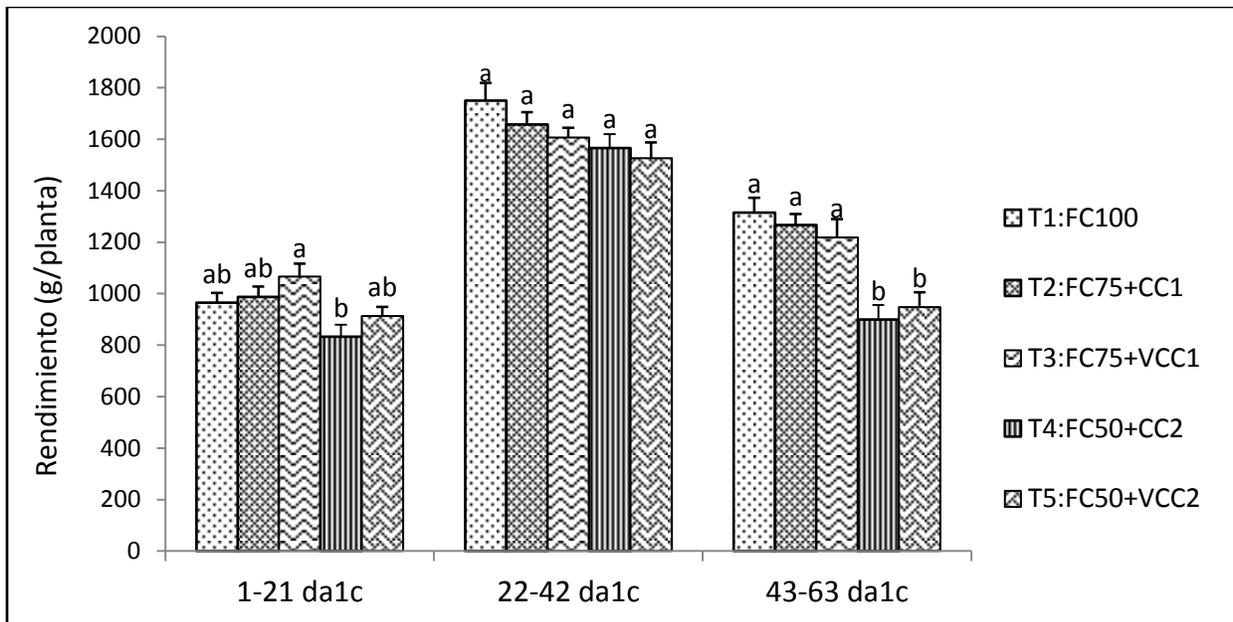


Figura 4. Rendimiento de tomate (\pm error estándar de la media), medido por periodos de 21 días. Da1c= días a partir de la primera cosecha. Letras diferentes en las barras dentro de cada periodo, indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). FC100, FC75 y FC50= Fertilización convencional al 100, 75 y 50 %; CC1 y VCC1 = compost y vermicompost en la dosis uno (1.26 y 1.16 kg m²); CC2 y VCC2= compost y vermicompost en la dosis dos (2.52 y 2.32 kg m²).

Análisis de las propiedades del suelo al finalizar el experimento

Los tratamientos mostraron diferencias significativas en cuanto a pH, CIC, P y K del suelo. Respecto a la densidad aparente (DA), carbono orgánico (CO), N, relación C/N, Ca y Mg no se observaron diferencias significativas (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Propiedades del suelo al finalizar el experimento.

Tratamientos	DA (g cm ⁻³)	pH	CIC (cmol kg ⁻¹)	CO (%)	N (%)	C/N	P -----mg kg ⁻¹ -----	K	Ca	Mg
T1:FC100	0.80 a	5.95 b	16.89 b	3.25 a	0.33 a	10.06 a	143.01 a	269.39 a	1824.00 a	500.35 a
T2:FC75+CC1	0.81 a	6.05 ab	18.83 ab	3.51 a	0.34 a	10.59 a	130.59 ab	241.02 ab	1650.39 a	505.44 a
T3:FC75+VCC1	0.80 a	6.12 ab	18.32 ab	3.61 a	0.34 a	10.77 a	131.46 ab	243.53 ab	1775.51 a	450.33 a
T4:FC50+CC1	0.78 a	6.15 a	19.28 a	3.90 a	0.35 a	11.26 a	127.56 b	230.98 b	1612.35 a	391.99 a
T5:FC50+VCC1	0.82 a	6.14 a	19.45 a	3.71 a	0.34 a	11.04 a	128.55 b	233.49 b	1559.80 a	416.45 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); FC100, FC75 y FC50= Fertilización convencional al 100, 75 y 50 %; CC1 y VCC1 = compost y vermicompost en la dosis uno (1.26 y 1.16 kg m²); CC2 y VCC2= compost y vermicompost en la dosis dos (2.52 y 2.32 kg m²).

El pH y la CIC del suelo con T4 y T5 fue mayor que la de T1, el pH 3.4 y 3.2% y la CIC 14.2 y 15.2%. Lo anterior pudo deberse a que normalmente la FC100 conduce a un pH más ácido, comparado con los tratamientos con FC al 50% + AO con dosis alta, ya que regularmente, la materia orgánica ayuda a amortiguar los cambios de pH y favorece el incremento de la CIC (Martinez *et al.*, 2008). Sin embargo, entre los tratamientos con FC al 75% y la FC al 100% las diferencias no fueron significativas, lo cual pudo ser debido a que en T2 y T3 la dosis de FC fue alta y la dosis de AO fue baja, además de que la alta cantidad de CO del suelo, pudo amortiguar el efecto de estos tratamientos sobre el pH y la CIC. El contenido de P y K del suelo del T1 fue

mayor al de T4 y T5, el P: 12 y 11% y el K: 17 y 15%. Lo anterior se pudo deber a que una parte de la FC no es aprovechada por las plantas y se va acumulando en el suelo, lo cual se acentúa en los suelos de origen volcánico, como el del estudio, por su alta capacidad de retención de P y K (Rubí *et al.*, 2012) y con el paso del tiempo la FC puede llevar a la acumulación excesiva de estos y otros elementos; en cambio, en los tratamientos con FC al 50% (T4 y T5), las plantas estuvieron restringidas de estos nutrimentos y pudieron aprovechar en mayor medida el suministro proveniente de los AO y del suelo, por lo que al finalizar el experimento, el suelo de T4 y T5 resultó con las menores cantidades de K y P. La FC al 100%, comparada con los tratamientos con FC al 75% (T2 y T3), no tuvo diferencias significativas.

En un experimento similar, Doan *et al.* (2013b) al cultivar maíz-tomate-maíz durante un año bajo invernadero, observaron que el suelo tratado con FC tuvo el pH más bajo (7.7) y al aplicar FC + AO (20 t ha⁻¹), el suelo quedó con el mayor pH (7.8 con FC + compost y 8.1 con FC + vermicompost); el contenido de P intercambiable (mg kg⁻¹) y K total (%), resultaron mayores en los suelos tratados con FC (86.05 y 1.46), respecto a los que se agregó compost (70.31 y 1.33) o vermicompost (61.95 y 1.35). En otro estudio, se observó que la adición de materiales orgánicos a los suelos incrementa las tasas de mineralización de P en suelos, de 0,06 (control) a 0,27 mg P/kg/día, aumenta el P disponible para la planta entre 1,3 y 1,6 veces y disminuye la fijación de P (Thangaranjan *et al.*, 2013). Moreno *et al.* (2016) indican que en el suelo usado intensivamente en invernadero, la aplicación de compost incrementó el contenido de MO, al mismo tiempo que disminuyó la DA del suelo; el AO fue también una fuente eficaz de N, P, K y Ca.

En suelo cultivado con trigo, Demelash *et al.* (2014) reportaron que la aplicación de FC + compost 8 t ha⁻¹ aumentó significativamente el P y Ca intercambiables, así como la MO y la CIC del suelo, comparados con el suelo con FC; pero estas diferencias no se dieron respecto al pH, K y Mg, lo cual pudo ser a causa de que la cantidad de FC aplicada al trigo (34. 5–10 kg N–P ha⁻¹)

no fue tan grande como la que se aplica en cultivos intensivos y no incluyó K y Mg; además de que el contenido de K y Mg del compost aplicado, fue muy bajo (1.2 y 14.6 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$).

La diversidad de resultados que se han obtenido con la aplicación de AO, es generada por la variabilidad en la composición y cantidades aplicadas de AO, las propiedades del suelo, las especies cultivadas, las cantidades y tipos de fertilizantes químicos empleados y el sistema productivo, entre otros factores y sus complejas interacciones. No obstante, en general, el compost y vermicompost mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual no hace la FC. Estos beneficios también se dan al aplicar AO combinados con FC (Pérez *et al.*, 2008; Jouquet *et al.*, 2010; Zhao y Zhou, 2011; Ngo *et al.*, 2012; Pareek *et al.*, 2015).

Sin embargo, en nuestro experimento, no se registraron diferencias significativas en cuanto a la DA, CO, N y relación C/N del suelo, posiblemente debido a que el efecto de los tratamientos fue amortiguado por el alto contenido de CO y N que el suelo ya tenían al montar el experimento; por lo que, para que se manifiesten diferencias en dichas propiedades, se requiere aplicar mayores cantidades de AO y esperar más tiempo. Tampoco hubo diferencias de Ca y Mg del suelo, lo cual pudo deberse a que los AO contenían altas cantidades de estos nutrimentos y esto equilibró su presencia en el suelo tratado con bajas dosis de FC.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de compost (CC) o vermicompost (VCC) de estiércol de caprinos, combinados con la fertilización convencional (FC) al 50%, se aumentó el crecimiento de las plantas de tomate, en comparación con la FC al 100%. Con el uso de CC o VCC puede reducir la FC y sostener un rendimiento de tomate similar al de la FC al 100%, por un periodo cuya duración es mayor en los tratamientos con FC al 75%, respecto a los que tenían FC al 50%.

Los beneficios que los tratamientos con VCC tuvieron sobre el crecimiento de las plantas, comparados con los que incluían CC, sólo se observaron durante los primeros 60 días del cultivo.

Con la reducción de la FC al 50% + altas dosis de CC o VCC, se amortiguó el efecto de la FC en algunas propiedades del suelo (pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de P y K).

LITERATURA CITADA

- Abduli, M. A., L. Amiri, E. Madadian, S. Gitipour, and S. Sedighian. 2013. Efficiency of Vermicompost on Quantitative and Qualitative Growth of Tomato Plants Int. J. Environ. Res. 7: 467-472.
- Aguilar B., G., C. B. Peña V., J. R. García N., P. Ramírez V., S. G. Benedicto V., y J. D. Molina G. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. Agrociencia 46: 37-50.
- Álvarez S., J. D., D. A. Gómez V., N. S. León M., y F. A. Gutiérrez M. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia 44: 575-586.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, P. Bierman, J. D. Metzger, S. Lee, and C. Welch. 2003. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. Pedobiologia 47: 731-735.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, A. Babenko, J. Cannon, P. Galvis, and J. D. Metzger. 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. Appl. Soil Ecol. 39: 91-99.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C.A. Edwards, and J.D. Metzger. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol. 75: 175-180.

- Atiyeh, R. M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, and W. Shuster. 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
- Azarmi, R., P. S. Ziveh, and M. R. Satari. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Pak. J. Biol. Sci.* 11: 1797-1802.
- Bhardwaj, D., M. W. Ansari, R. K. Sahoo, and N. Tuteja. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb. Cell Fact.* 13: 66-76.
- Castellanos, J.Z., Editor., 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, Celaya, México. pp: 76-79, 187-190.
- Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández, y R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25: 59-67.
- Demelash, N., W. Bayu, S. Tesfaye, F. Ziadat, and R. Sommer. 2014. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 100: 357-367.
- Doan, T. T., D. M. Jusselme, J. C. Lata, B. V. Nguyen, and P. Jouquet. 2013a. The earthworm species *Metaphire posthuma* modulates the effect of organic amendments (compost vs vermicompost from buffalo manure) on soil microbial properties. A laboratory experiment. *Eur. J. Soil Biol.* 59: 15-21.
- Doan, T. T., P. T. Ngo, C. Rumpel, B. V. Nguyene, and P. Juoquet. 2013b. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Sci. Hortic.* 160: 148-154.

- Doan, T. T., T. Henry-des-Tureaux, C. Rumpel, J. Janeau, and P. Juoquet. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Sci. Total Environ.* 514: 147-154.
- García-Mendivil, H. A., L. Castro-Espinoza, E. Guzmán-Fierros, C. Mungarro-Ibarra, M. Arellano-Gil, J. L. Martínez-Carrillo, and M. A. Gutiérrez-Coronado. 2014. Aplicación de compost, a base de champiñón enriquecida con silicio, en trigo (*Triticum* spp.). *Agrociencia* 48: 691-702.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., J. Santiago-Borraz, J. A. Montes M., C. C. Nafate, M. Abud-Archila, M. A. Oliva L., R. Rincón-Rosales, and L. Dendooven. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresour. Technol.* 98: 2781-2786.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., B. Moguel-Zamudio, M. Abud-Archila, V. F. Gutiérrez-Oliva, and L. Dendooven. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bioresour. Technol.* 99: 7020–7026.
- Hepperly, P., D. Lotter, C. Ziegler U., R. Seidel, and C. Reider. 2009. Compost, manure and synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content. *Compost Sci. Util.* 17: 117-126.
- Hernández, O. L., A. Calderín., R. Huelva, D. Martínez-Balmori, F. Guridi, N.O Aguiar, F. L. Olivares, and L. P. Canellas. 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 225-232.
- Hernández, T., C. Chocano, J. Moreno, and C. García. 2014. Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 196: 178-184.

- Jouquet P., T. Plumerea, T. D. Thub, C. Rumpel, T. T. Duc, and D. Orangea. 2010. The rehabilitation of tropical soils using compost and vermicompost is affected by the presence of endogeic earthworms. *Appl. Soil Ecol.* 46: 125-33.
- Jouquet, E. P., E. Bloquel, T. T. Doan, M. Ricoy, D. Orange, C. Rumpel, and T. T. Duc. 2011. Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils? *Compost Sci. Util.* 19: 15-24.
- Kizilkaya, R., F. S. Hepsen T., C. Turkmen, and M. Durmus. 2012. Vermicompost effects on wheat yield and nutrient contents in soil and plant. *Arch. Aron. Soil Sci.* 58: 175-179.
- Lampkin, N., 1998. *Agricultura ecológica*. Mundi Prensa. Madrid. pp: 1-123.
- Lazcano, C., J. Arnold, A. Tato, J.G. Zaller, and J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Span. J. Agric. Res.* 7:944-951.
- Martínez B., J., P. Muñoz, A. Antón, and J. Rieradevall. 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *J. Cleaner Prod.* 19: 985-997.
- Martínez H., E., J. P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8:68-96.
- Moreno M. T., E. Carmona, A. Santiago, J. Ordovás, and A. Delgado. 2016. Olive Husk Compost Improves the Quality of Intensively Cultivated Agricultural Soils. *Land Degrad. Develop.* 27: 449-459.
- Mueller S., A. F. Wamser, A. Suzuki, and W. F. Becker. 2013. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. *Hortic. bras.* 31: 86-92.

- Najar I. A., and A. B. Khan. 2013. Effect of Vermicompost on Growth and Productivity of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Under Field Conditions. *Acta Biol. Malays.* 2: 12-21.
- Ngo P. T., C. Rumpel, M. Dignac, D. Billou, T. T. Duc, and P. Jouquet. 2011. Transformation of buffalo manure by composting or vermicomposting to rehabilitate degraded tropical soils. *Ecol. Eng.* 37: 269-276.
- Ngo P. T., C. Rumpel, T. T. Doan, and P. Jouquet. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biol. Biochem.* 50: 214-220.
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina C., P. Vargas T. y S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 367-374.
- Pareek, P K., P. Bhatnagar, J. Singh, M. C. Jain, and M.K. Sharma. 2015. Nitrogen and Vermicompost Interaction on Soil and Leaf Nutrient Status of Kinnow Mandarin in Vertisols of Jhalawar District. *J. Plant Nutr.* 39: 942-948.
- Pérez, A., C. Céspedes, y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de abonos orgánicos aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8: 10-29.
- Rodríguez, D., N, P. Cano R., U. Figueroa V., A. Palomo G., E. Favela C., V. P. Álvarez R., C. Márquez H. y A. Moreno R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.
- Rubí A. M. A González H., V Olalde P., B.G. Reyes R., A.M. Castillo G., D.J. Pérez L. y L.I. Aguilera G. 2012. Interrelación entre fósforo, *Bacillus subtilis* y *Glomus fasciculatum* con la calidad en *Lilium*. *Phyton-Int. J. Exp. Bot.* 81: 59-68.

- Sanchez, J. E., R. R. Hardwood, T. C. Willson, K. Kizilkaya, J. Smeenk, E. Parker, E. A. Paul, B. D. Knezek, and C. P. Robertson. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *J. Agr.* 96: 769-775.
- Shankar, K. S., S. Sumathi, M. Shankar, and N.N Reddy. 2012. Comparison of nutritional quality of organically versus conventionally grown tomato. *Indian J. Hortic.* 69: 86-90.
- Thangarajan, R., N. S. Bolan, G. Tian, R. Naidu, and A. Kunhikrishnan. 2013. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Sci. Total Environ.* 465: 72-96.
- Tiltson, E. L., D. Pitt, and A. C. Groenhof. 2002. Composted recycles organic matter suppresses soil-borne diseases of feeld crops. *New Phytol.* 154:731-740.
- Verma, S., A. Sharma, R. Kumar, C. Kaur, A. Arora, R. Shah., and L. Nain. 2015. Improvement of antioxidant and defense properties of Tomato (var. Pusa Rohini) by application of bioaugmented compost. *Saudi J. Biol. Sci.* 22: 256-264.
- Villarreal-Romero, M., S. Parra-Terraza, P. Sánchez-Peña, S. Hernández-Verdugo, T. Osuna-Enciso y J. B. H. Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 214-228.
- Weil, R.R. and F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. Magdoff, D. and Weil, R.R. (Eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, pp. 1–45.
- Zhao J., and L. Zhou. 2011. Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Black Soil Fertility and Maize Yield. *J. Northeast Agric. Univ.* 18: 24-29.

5.3. Efecto del vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz

En el cuadro 5 se puede ver que el tratamiento con vermicompost a una tasa de 1.5 kg m², fue el que presentó los menores valores de altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento de grano de maíz, en tanto que entre T1 (fertilización convencional) y T3 (3 kg m² de vermicompost) las diferencias no resultaron significativas ($p \geq 0.05$). Lo anterior sugiere que el T1 y T3 suplieron las necesidades del cultivo de forma similar; mientras que con el T2, se manifestaron deficiencias de nutrientes. Esto pudo deberse a que en los abonos orgánicos, la disponibilidad de nutrientes para ser consumidos por las plantas se da de forma paulatina durante alrededor de dos años (Weil y Magdoff, 2004; Jouquet *et al.*, 2011), por lo que en ocasiones los abonos orgánicos no alcanzan a cubrir las necesidades nutritivas de los cultivos y se requieren su aplicación en grandes cantidades (Hernández *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Características de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, con tres tratamientos de fertilización.

Tratamientos	Altura de la planta (m)	Diámetro del tallo (cm)	Rendimiento de grano de maíz (kg ha ⁻¹)
T1:FC	2.34 a	1.58 a	1580 a
T2:VCC1.5	1.87 b	1.20 b	1341 b
T3:VCC3	2.21 a	1.52 a	1705 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); FC= Fertilización convencional, VCC1.5 y VCC3= Vermicompost de estiércol de caprinos, en las dosis de 1.5 y 3 kg m², respectivamente.

En un experimento similar, el tratamiento de fertilización inorgánica (120-40-00 de N-P-K) tuvo un rendimiento de grano de maíz de 6.05 t ha⁻¹ y el compost de estiércol pecuario mostró

similares resultados (5.66 t ha^{-1}). Con base a lo anterior se concluyó que el compost de estiércoles pecuarios con dosis de 20 a 30 t ha^{-1} , es una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica (López-Martínez *et al.* 2001).

Álvarez-Solís *et al.* (2010) encontraron que el rendimiento de grano de maíz varió de 2 152 a $3 616 \text{ kg ha}^{-1}$; el valor más bajo fue para la dosis baja de fertilización convencional (60–30 de N–P) sin abonos orgánicos y el más alto para la dosis alta de fertilización convencional (120–60 de N–P) + vermicompost (6 t ha^{-1}). Jouquet *et al.* (2015) aplicaron fertilización química ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} = 40 \text{ g m}^2$, $\text{K}_2\text{O} = 16 \text{ g m}^2$ y $\text{P}_2\text{O}_5 = 50 \text{ g m}^2$) + vermicompost (20 t ha^{-1}) en el cultivo de maíz. Con la adición de vermicompost obtuvieron los mejores resultados de rendimiento de maíz (4.7 t ha^{-1}) en comparación con la fertilización convencional (3.2 t ha^{-1}), la biomasa de las plantas siguió un comportamiento similar. Estos resultados favorables con la aplicación de vermicompost, pudieron deberse a que en esos experimentos se aplicó fertilización combinada orgánica e inorgánica.

VI. DISCUSIÓN GENERAL

La LC total de las plantas de jitomate que recibieron la FC al 75 %, fue mayor que con la FC al 100 % (figura 1), lo cual pudo deberse a que la reducción de la FC fue moderada y a que los AO estimularon la actividad microbiana del suelo y la mineralización de nutrientes, además de aportar materia orgánica, nutrientes, vitaminas, hormonas y enzimas promotoras del crecimiento vegetal (Thangarajan *et al.*, 2013; Doan *et al.*, 2013a; Doan *et al.*, 2015). En los periodos 1-30 y 1-60 ddt, la aplicación de VCC+FC generó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de DT, respecto a la FC100; mientras que en con CC+FC, no las hubo (figura 2). Las diferencias entre los tratamientos con VCC y los que incluyeron CC, dejaron de manifestarse en periodos posteriores. Esto puede relacionarse con el consumo del CC por parte las lombrices nativas del suelo, que lo transformaron en VCC (Doan *et al.* 2013b).

El rendimiento total de jitomate con FC75 fue similar que con FC100, y este último fue mayor (22%) que con FC50 (figura 3). Entre los tratamientos que contenían AO no se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Martínez *et al.*, (2011) obtuvieron un rendimiento similar entre la fertilización combinada y la FC de tomate. Hernández *et al.* (2014), utilizaron compost combinado con FC al 60 y 20%. Los tratamientos con FC al 60% + compost, tuvieron un rendimiento similar al obtenido con la FC al 100% (5.6 kg/planta). Los tratamientos con un 20% de FC + compost, tuvieron 3 kg/planta. Esos resultados coinciden con los nuestros y sugieren que hay limitación de nutrientes en las tasas más bajas de FC. Durante nuestro primer periodo (1-21 da1c), El T3 tuvo un rendimiento 28 % mayor que T4 (figura 4), esto sugiere que la aplicación de una alta dosis de FC (75%) + VCC, mejora el rendimiento al inicio de la cosecha y que una dosis baja de FC (50%) + CC, lleva a un bajo rendimiento inicial. Lo anterior puede estar ligado a que los primeros frutos del T3 maduraron tres días antes que los frutos del resto de los tratamientos, lo que indica que la FC 75% aportó una adecuada cantidad de nutrientes, sumados a los aportes del suelo y del vermicompost, el cual puede acelerar el ciclo productivo

de los cultivos (Atiyeh *et al.*, 2000b; Arancon *et al.*, 2008; Ngo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2015). En el tercer periodo (43-63 da1c), T1, T2 y T3 mostraron rendimiento similar entre estos tres tratamientos y superior a T4 y T5 (oscilando entre 15 y 19 %), lo cual muestra que la combinación de una dosis baja de FC (50%) + AO condujo la caída del rendimiento.

En nuestro experimento con el cultivo de maíz, el tratamiento con VCC a una tasa de 1.5 kg m², presentó los menores valores de altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento, en tanto que entre T1 (FC) y T3 (3 kg m² de VCC) las diferencias no resultaron significativas ($p \geq 0.05$). Esto sugiere que las necesidades nutrimentales del cultivo no fueron satisfechas con la dosis baja de VCC, esto debido que en los AO, la disponibilidad de nutrientes para ser consumidos por las plantas se da de forma paulatina (Weil y Magdoff, 2004; Jouquet *et al.*, 2011).

Respecto al suelo, en nuestro trabajo con jitomate, el pH y la CIC con T4 y T5 fueron mayores que la de T1, el pH 3.4 y 3.2% y la CIC 14.2 y 15.2% (cuadro 4). Lo anterior pudo deberse a que la FC100 condujo la acidificación del pH, en contraste con los tratamientos con FC al 50% + AO (en sus dosis más altas), en los que la materia orgánica pudo amortiguar los cambios de pH e incrementar la CIC (Martinez *et al.*, 2008). El contenido de P y K del suelo con FC100 fue mayor que con FC50 (T4 y T5), el P: 12 y 11% y el K: 17 y 15%. Lo anterior se pudo deber a que una parte de la FC no es aprovechada por las plantas, lo cual generó la acumulación de estos y otros elementos; en cambio, con FC50, las plantas estuvieron restringidas de estos nutrimentos y pudieron aprovechar en mayor medida el suministro proveniente de los AO y del suelo. En un experimento similar, Doan *et al.* (2013b) al cultivar maíz-tomate-maíz durante un año bajo invernadero, observaron que el suelo tratado con FC tuvo el pH más bajo (7.7) y al aplicar FC + AO (20 t ha⁻¹), el suelo quedó con el mayor pH (7.8 u 8.1); el contenido de P intercambiable y K, resultaron mayores en los suelos tratados con FC, respecto a los que se agregó compost o vermicompost. En otro estudio, se observó que la adición de materiales orgánicos, incrementa las tasas de mineralización de P, de 0,06 (control) a 0,27 mg P/kg/día y aumentó el P disponible para las plantas entre 1,3 y 1,6 veces (Thangaranjan *et al.*, 2013). En

general, el compost y vermicompost mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual no hace la FC. Estos beneficios también se dan al aplicar AO combinados con FC (Pérez *et al.*, 2008; Jouquet *et al.*, 2010; Zhao y Zhou, 2011; Pareek *et al.*, 2015). Sin embargo, en nuestro experimento, no se registraron diferencias significativas en cuanto a la DA, CO, N y relación C/N del suelo, posiblemente debido a que el efecto de los tratamientos fue amortiguado por el alto contenido de CO y N que el suelo ya tenían al montar el experimento; por lo que, para que se manifiesten diferencias en dichas propiedades, se requiere aplicar mayores cantidades de AO y esperar más tiempo. Tampoco hubo diferencias de Ca y Mg del suelo, lo cual pudo deberse a que los AO contenían altas cantidades de estos nutrimentos y esto equilibró su presencia en el suelo tratado con bajas dosis de FC.

VII. CONCLUSIONES GENERALES

Con la aplicación de compost (CC) o vermicompost (VCC) de estiércol de caprinos, combinados con la fertilización convencional (FC) al 50%, aumentó el crecimiento de las plantas de tomate en comparación con la FC al 100%. Con el uso de CC o VCC se redujo la FC y se sostuvo el rendimiento de tomate por un periodo cuya duración fue mayor en los tratamientos con FC al 75%, respecto a los que tenían FC al 50%. Los beneficios que los tratamientos con VCC tuvieron sobre el crecimiento de las plantas, en comparación con los que incluían CC, sólo se observaron durante los primeros 60 días del cultivo. Con la aplicación de la FC al 50% + altas dosis de CC o VCC, se amortiguó el efecto de la FC en algunas propiedades del suelo (pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de P y K).

En el cultivo de maíz, con la aplicación de vermicompost en dosis altas (3 kg m²), es posible igualar el rendimiento que se obtiene con la FC.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abduli, M. A., L. Amiri, E. Madadian, S. Gitipour, and S. Sedighian. 2013. Efficiency of Vermicompost on Quantitative and Qualitative Growth of Tomato Plants Int. J. Environ. Res. 7: 467-472.
- Aguilar-Benítez, G., C. B. Peña-Valdivia¹, J. R. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. G. Benedicto-Valdés, J. D. Molina-Galán. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. Agrociencia 46: 37-50.
- Álvarez-Solís, J. D., D. A. Gómez-Velasco, N. S. León-Martínez, y F. A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia 44: 575-586.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, A. Babenko, J. Cannon, P. Galvis and J. D. Metzger. 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. Appl. Soil Ecol. 39: 91-99.
- Astier-Calderón M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36: 605-620.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C.A. Edwards, and J.D. Metzger. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol. 75: 175-180.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, and W. Shuster. 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia 44: 579-590.
- Azarmi, R., P. S. Ziveh, and M. R. Satari. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Pak. J. Biol. Sci. 11: 1797-1802.
- Bernal, M.P., J.A. Albuquerque., R. Moral b. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresour. Technol. 100: 5444-5453.
- Bhardwaj, D., M. W. Ansari, R. K. Sahoo, and N. Tuteja. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microb. Cell Fact. 13: 66-76.
- Castellanos, J.Z., Editor., 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, Celaya, México. pp: 76-79, 187-190.

- Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández, y R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia* 25: 59-67.
- Demelash, N., W. Bayu, S. Tesfaye, F. Ziadat, and R. Sommer. 2014. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 100: 357-367.
- Doan, T. T., D. M. Jusselme, J. C. Lata, B. V. Nguyen, and P. Jouquet. 2013a. The earthworm species *Metaphire posthuma* modulates the effect of organic amendments (compost vs vermicompost from buffalo manure) on soil microbial properties. A laboratory experiment. *Eur. J. Soil Biol.* 59: 15-21.
- Doan, T. T., P. T. Ngo, C. Rumpel, B. V. Nguyene, and P. Juoquet. 2013b. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Sci. Hortic.* 160: 148-154.
- Doan, T. T., T. Henry-des-Tureaux, C. Rumpel, J. Janeau, and P. Juoquet. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Sci. Total Environ.* 514:147-154.
- Domínguez, J. y M. Gómez-Brandón. 2013. The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. *Waste Manag. Res.* 31: 859-868.
- Durán-Umaña, L. y C. Henríquez-Henríquez. 2010. El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agron. Mesoam.* 21: 85-93.
- Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A., 2007. *Microbiología agrícola*. Trillas. México, D.F. pp. 85-88, 170-173.
- Franzlubbers A. J. and M. A. Arshad 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1382-1386.
- García, Y., W. Ramírez y S. Sánchez. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35:125-138.
- García-Mendivil, H. A., L. Castro-Espinoza, E. Guzmán-Fierros, C. Mungarro-Ibarra, M. Arellano-Gil, J. L. Martínez-Carrillo, and M. A. Gutiérrez-Coronado. 2014. Aplicación de compost, a base de champiñón enriquecida con silicio, en trigo (*Triticum* spp.). *Agrociencia* 48: 691-702.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., J. Santiago-Borraz, J. A. Montes M., C. C. Nafate, M. Abud-Archila, M. A. Oliva L., R. Rincón-Rosales, and L. Dendooven. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresour. Technol.* 98: 2781-2786.

- Gutiérrez-Miceli, F. A., B. Moguel-Zamudio, M. Abud-Archila, V. F. Gutiérrez-Oliva, and L. Dendooven. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bioresour. Technol.* 99: 7020–7026.
- Guzmán, G., M. González y E. Sevilla 2000. *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. pp: 45, 46,274, 275.
- Hepperly, P., D. Lotter, C. Ziegler U., R. Seidel, and C. Reider. 2009. Compost, manure and synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content. *Compost Sci. Util.* 17: 117-126.
- Hermosa, R., A. Viterbo, I. Chet and E. Monte. 2012. Plant beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology* 158: 17-25.
- Hernández, O. L., A. Calderín., R. Huelva, D. Martínez-Balmori, F. Guridi, N.O Aguiar, F. L. Olivares, and L. P. Canellas. 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 225-232.
- Hernández, T., C. Chocano, J. Moreno, and C. García. 2014. Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 196: 178-184.
- Inzunza-Ibarra, M. A., E. A. Catalán-Valencia., M. Villa-Castorena, R. López-López y E. Sifuentes-Ibarra. 2017. Respuesta del tomate a tipos de acolchado plástico y niveles de riego con cinta. *Rev. Fitotec. Mex.* 40: 9-16.
- Jouquet P., T. Plumerea, T. D. Thub, C. Rumpel, T. T. Duc, and D. Orangea. 2010. The rehabilitation of tropical soils using compost and vermicompost is affected by the presence of endogeic earthworms. *Appl. Soil Ecol.* 46: 125-33.
- Jouquet, E. P., E. Bloquel, T. T. Doan, M. Ricoy, D. Orange, C. Rumpel, and T. T. Duc. 2011. Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils? *Compost Sci. Util.* 19: 15-24.
- Khaliq, A., M.K., Abbasi, and T. Hussain. 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresour. Technol.* 97: 967-972.
- Kloepper J. W., R. Choong-Min and Z. Shouan. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94: 1259-1266.
- Lampkin, N., 1998. *Agricultura ecológica*. Mundi Prensa. Madrid. pp: 1-123.
- Lazcano, C., J. Arnold, A. Tato, J.G. Zaller, and J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Span. J. Agric. Res.* 7:944-951.

- López-Martínez, J. D., A. Díaz, E. Martínez y R. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*. 19: 293-299.
- Martínez H., E., J. P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8: 68-96.
- Martínez B., J., P. Muñoz, A. Antón, and J. Rieradevall. 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *J. Cleaner Prod.* 19: 985-997.
- Moreno M. T., E. Carmona, A. Santiago, J. Ordovás and A. Delgado. 2016. Olive Husk Compost Improves the Quality of Intensively Cultivated Agricultural Soils. *Land Degrad. Develop.* 27: 449-459.
- Mueller S., A. F. Wamser, A. Suzuki, and W. F. Becker. 2013. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. *Hortic. bras.* 31: 86-92.
- Navarrete A., G. Vela, J. López y M. L. Rodríguez. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80: 29-37.
- Ngo P. T., C. Rumpel, T. T. Doan, and P. Jouquet. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biol. Biochem.* 50: 214-220.
- Nyamangara, J., L.F. Bergstrom, M.I. Piha, K.E Giller. 2003. Fertilizer use efficiency and nitrate leaching in a Tropical Sandy Soil. *J. Environ. Qual.* 32: 599-606.
- Olsen D., J. B. Endelman, A R. Jacobson and J. R. Reeve. 2015. Compost Carryover: Nitrogen Phosphorous and FT-IR Analysis of Soil Organic Matter. Utah State University. Plants, Soils, and Climate Faculty Publications. Paper 733.
- Pareek, P K., P. Bhatnagar, J. Singh, M. C. Jain, and M.K. Sharma. 2015. Nitrogen and Vermicompost Interaction on Soil and Leaf Nutrient Status of Kinnow Mandarin in Vertisols of Jhalawar District. *J. Plant Nutr.* 39: 942-948.
- Pérez, A., C. Céspedes, y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de abonos orgánicos aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8: 10-29.
- Rodríguez, D., N, P. Cano R., U. Figueroa V., A. Palomo G., E. Favela C., V. P. Álvarez R., C. Márquez H. y A. Moreno R. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 265-272.

- Sanchez, J. E., R. R. Hardwood, T. C. Willson, K. Kizilkaya, J. Smeenk, E. Parker, E. A. Paul, B. D. Knezek, and C. P. Robertson. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *J. Agr.* 96: 769-775.
- SEDEMA 2012. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 30 de noviembre de 2012.
- Shankar, K. S., S. Sumathi, M. Shankar, and N.N Reddy. 2012. Comparison of nutritional quality of organically versus conventionally grown tomato. *Indian J. Hortic.* 69: 86-90.
- Simpson, A.J., G. Song, E. Smith, B. Lam, E. H. Novotny, M.H.B. Hayes. 2007. Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 41: 876-883.
- SMA. 2006. Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS-2006. Requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Secretaria de Medio Ambiente. Gaceta del Gobierno. 9 de octubre de 2006.
- Tejada, M., C García, J.L. González and M.T. Hernández. 2006. Organic amendment based on fresh and composted beet vinasse: influence on soil properties and wheat yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 900-908.
- Thangarajan, R., N. S. Bolan, G. Tian, R. Naidu, and A. Kunhikrishnan. 2013. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Sci. Total Environ.* 465: 72-96.
- Tiltson, E. L., D. Pitt, and A. C. Groenhof. 2002. Composted recycles organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. *New Phytol.* 154:731-740.
- Verma, S., A. Sharma, R. Kumar, C. Kaur, A. Arora, R. Shah., and L. Nain. 2015. Improvement of antioxidant and defense properties of Tomato (var. Pusa Rohini) by application of bioaugmented compost. *Saudi J. Biol. Sci.* 22: 256-264.
- Weil, R.R. and F. Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. Magdoff, D. and Weil, R.R. (Eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, pp. 1-45.
- Zhao J., and L. Zhou. 2011. Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Black Soil Fertility and Maize Yield. *J. Northeast Agric. Univ.* 18: 24-29.

IX. ANEXOS

9.1. Participación como ponente en la LII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria



9.2. Otros resultados

Efecto del compost o vermicompost de ovino, combinados con fertilizantes inorgánicos, sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de jitomate.

Cuadro 1. Longitud de crecimiento (LC) y diámetro del tallo (DT) en cm, de las plantas de jitomate bajo la aplicación combinada de diferentes dosis de fertilización convencional, compost y vermicompost de estiércol de ovino.

Período*	Variable	T1:FC100	T2:FC75+CC25	T3:FC75+VCC25	T4:FC50+CC50	T5:FC50+VCC50
Días 1-150 (total)	LC total	244.4 b	283.7 ab	290.5 a	242.7 b	258.0 ab
	DT promedio	0.91 ab	0.94 ab	1.01 a	0.86 b	0.90 ab
Días 1-30	LC	19.4 a	21.0 a	21.9 a	20.2 a	20.9 a
	DT	0.36 a	0.38 a	0.41a	0.37 a	0.40 a
Días 31-60	LC	29.8 a	34 a	36.5a	32.6 a	33.9 a
	DT	0.97ab	0.98 ab	1.15 a	0.93 b	1.12 ab
Días 61-90	LC	60.8 b	75.2 a	76.8 a	66.5 ab	74.2 a
	DT	1.03 b	1.21 a	1.24 a	1.13 ab	1.19 a
Días 91-120	LC	56.5 b	72.2 a	71.4 a	58.8 ab	61.9 ab
	DT	1.06 a	1.03 a	1.11 a	0.96 a	0.91 a
Días 121-150	LC	77.9 abc	81.4 ab	83.8 a	64.7 c	67.2 bc
	DT	1.15 a	1.12 a	1.14 a	0.90 b	0.88 b

FC100, FC75 y FC50= fertilización convencional al 100%, 75% y 50%, respectivamente; CC25 y CC50= compost de ovinos que aporta el 25% y 50% del N, respectivamente; VCC25 y VCC50 = vermicompost de ovinos que aporta el 25% y 50% del N, respectivamente. * El periodo de observación se consideró en días después de la siembra. Valores con diferente letra en la fila, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Rendimiento de jitomate (g/planta), bajo la aplicación combinada de diferentes dosis de fertilización convencional, compost y vermicompost de estiércol de ovino.

Periodo*	T1:FC100	T2:FC75+CC25	T3:FC75+VCC25	T4:FC50+CC50	T5:FC50+VCC50
Días 1-63 (total)	4210.0 a	3781.7 ab	3871.7 ab	3196.7 b	3245.0 b
Días 1-21	1026.7 ab	941.7 ab	1063.3 a	783.3 b	847.7ab
Días 22-42	1801.7 a	1623.3 a	1570.0 a	1511.7 a	1488.3 a
Días 43-63	1381.7 a	1216.7 ab	1238.3 a	901.7 c	915.0 bc

FC100, FC75 y FC50= fertilización convencional al 100%, 75% y 50%, respectivamente; CC25 y CC50= compost de ovinos que aporta el 25% y 50% del N, respectivamente; VCC25 y VCC50 = vermicompost de ovinos que aporta el 25% y 50% del N, respectivamente. * El periodo de observación se consideró en días a partir de la primera cosecha. Valores con diferente letra en la fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).