

**IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA
PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE JALAPEÑO BAJO
CONDICIONES PROTEGIDAS**

CÉSAR MÁRQUEZ QUIROZ

T E S I S

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS
AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE
TOMATE Y CHILE JALAPEÑO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS

TESIS POR

CÉSAR MÁRQUEZ QUIROZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal

Dr. Vicente De Paúl Álvarez Reyna

Asesor

Dr. Pedro Cano Ríos

Asesor

Dr. Valentín Robledo Torres

Co-Asesor

Dr. Esteban Sánchez Chávez

Asesor

Dr. Uriel Figueroa Viramontes

Aseso

Dr. Efraín De la Cruz Lázaro

Dr. Fernando Ruíz Zárate
Subdirector de Posgrado

Dr. Pedro Antonio Robles Trillo
Jefe del Departamento de Posgrado

Torreón, Coahuila,

Diciembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE
TOMATE Y CHILE JALAPEÑO BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS**

TESIS POR

CÉSAR MÁRQUEZ QUIROZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

AGRARIAS

Asesor

Dr. Arturo Aplomo Gil (Q.E.P.D.)

Torreón, Coahuila,

Diciembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Por darme la oportunidad de realizar los estudios de posgrado bajo el proyecto de investigación con clave: No. 0203-1509-2569 y titulado **USO DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA FISIOLÓGIA DE TOMATE Y CHILE JALAPEÑO.**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por el otorgamiento de la beca para realizar los estudios de posgrado en ambos niveles de estudio.

A mis Asesores, los Doctores:

Arturo Palomo Gil (Q.E.P.D), Esteban Sánchez Chávez, Pedro Cano Ríos, Alejandro Moreno Reséndez, Vicente De Paul Alvarez Reyna, Valentín Robledo Torres, Uriel Figueroa Viramontes y Efraín de la Cruz Lázaro, investigadores de la UAAAN, CIAD, INIFAP y UJAT, por compartir sus conocimientos, observaciones, enseñanzas, atinados consejos e innumerables sugerencias, paciencia, confianza y amistad recibida, de quienes he aprendido lo que significa ser un investigador.

A los técnicos del laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal del CIAD AC. Unidad Delicias, Chihuahua.

MC. Mónica García Bañuelos, IQ. Alexandro Guevara Aguilar, MC. Ezequiel Muñoz Márquez y M.C. Juan Pedro Sida Arreola; por compartir sus conocimientos y técnicas de laboratorio.

A los ingenieros: Sayani Teresa López Espinosa, Adieser Ortiz Roblero, Amelio Morales Morales, Cleyver Rodríguez Escandón, Eloísa Roblero Ángel, Maribel Cruz Segundo, Edwards Solar Cruz, Micaela Marcelino Roque y Moisés Guillen Molina.

Por su amistad, paciencia, confianza y sobre todo por apoyar en la realización del trabajo de campo del experimento.

A Esther Peña Revuelta

Por la atención prestada durante mi estancia en el posgrado de la Unidad Laguna.

A la Dirección de Investigación y Posgrado (DIP-UJAT):

Por el apoyo otorgado, a través del convenio **DACA-03 UJAT-EGRESADO/2010.**

DEDICATORIA

A Dios

Al ser todo poderoso que siempre está conmigo, darme la oportunidad de existir y alumbrarme el camino del estudio hasta llegar a la culminación de esta tesis **GRACIAS.**

A mi Mamá

Alicia Quiroz Mendoza, por el esfuerzo y sacrificio para brindarme una profesión que es la mejor herencia que me pudo dar y por su apoyo incondicional en mi desarrollo personal y profesional.

A mis Hermanos

Por su apoyo, confianza, comprensión y cariño que siempre me han demostrado.

A mi Abuela (Q.E.P.D)

A mi Esposa

Sayani Teresa López Espinosa, por su profundo amor, gran apoyo, comprensión, paciencia e impulso dado para alcanzar ésta meta. Con todo mi amor, respeto y gratitud eterna.

A mis Hijos

Cesar Tadeo y Teresa Guadalupe Márquez López, por su amor, motivo de mi fortaleza para seguir adelante y por haberme permitido robarle parte del tiempo que le pertenecía para la realización de este trabajo.

COMPENDIO

IMPACTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA PRODUCCION DE TOMATE Y CHILE JALAPEÑO

POR

CÉSAR MÁRQUEZ QUIROZ

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2012

Dr. Arturo Palomo Gil-Asesor-

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum annum*, *fotosíntesis*, *nitrógeno*.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el impacto del té de vermicompost sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en tomate y chile jalapeño en invernadero. Durante 2011 se evaluaron los cultivares de tomate (Cuauhtémoc y El Cid) y chile jalapeño (Centella y Euforia) en cinco tratamientos de fertilización: F1 = arena + solución nutritiva inorgánica; F2 = arena + té de vermicompost al 10 % de concentración; F3 = mezcla de

arena + compost (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost al 2.5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + vermicompost (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost al 2.5 % de concentración y F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (relación 2:1:1; v/v) + té de vermicompost al 2.5 % de concentración. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se evaluó: el rendimiento total, número de frutos por planta, espesor de pulpa, longitud y diámetro ecuatorial del fruto. Además en el tomate se determinó el contenido nutricional del fruto y el diagnóstico nutricional de las plantas mediante el uso de indicadores fisiológicos y bioquímicos.

Chile jalapeño. El rendimiento y número de frutos por planta fueron afectados por los tratamientos de fertilización. El cultivar Euforia registró un incremento en el rendimiento de 56 %, con respecto al rendimiento obtenido por el cultivar Centella, mientras que el tratamiento F5 incrementó el rendimiento hasta 22.7 % en comparación con el testigo. El estudio sugiere que, al haber diferencias en rendimiento entre fuentes orgánicas e inorgánicas de los elementos nutritivos, el té de vermicompost en combinación con mezclas de arena: compost: vermicompost puede ser considerado como una alternativa para la producción orgánica de chile jalapeño bajo condiciones protegidas.

Tomate. Las plantas del tratamiento testigo (arena + fertilizante inorgánico) presentaron mayor rendimiento, superando en al menos 11.07, 28.92, 20.47 y 16.36 % a las plantas de los tratamientos orgánicos S2 (arena + té de TVC al

10 % de concentración), S3 (mezcla de arena: C + TVC al 2.5 % de concentración), S4 (mezcla de arena: VC + TVC al 2.5 % de concentración) y S5 (mezcla de arena: C: VC + TVC). En el tratamiento S3 se incrementó en 12.75 % el contenido de sólidos solubles con respecto al tratamiento S1. En plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S2 se incrementó el contenido de Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que las plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo, S1. El híbrido 'El Cid' presentó mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el híbrido 'Cuauhtémoc' presentó los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio se mostró que los tratamientos con fertilización orgánica (S2 y S5) pueden ser apropiados para la producción de tomate en invernadero.

Indicadores fisiológicos y bioquímicos en tomate. Los resultados muestran una fuerte influencia del tipo de fertilización en el contenido foliar de N. Con respecto a los pigmentos foliares proporcionaron buenos indicadores en el nivel de N en los diferentes tipos de fertilización. El rendimiento se decrementó bajo la fertilización F2 en al menos 16.45 %, aunado a lo anterior esta fertilización obtuvo la mejor asimilación de NO_3^- .

ABSTRACT

IMPACT OF ORGANIC FERTILIZER IN THE PRODUCTION OF TOMATO AND JALAPEÑO PEPPER UNDER PROTECTED CONDITIONS

BY

CÉSAR MÁRQUEZ QUIROZ

DOCTOR IN AGRARIAN SCIENCE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2012

Dr. Arturo Palomo Gil-Advisor-

Index words: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum annum*, *photosynthesis*, *nitrogen*.

The objective of this research was to assessed the impact of the vermicompost tea on the growth, yield and fruit quality of tomato and jalapeño pepper in greenhouse. During 2011, Cuauhtémoc and El Cid, tomato cultivars, and Centella and Euforia, jalapeño peppers cultivars, were evaluated with five fertilizer treatments: F1 = sand + inorganic nutrient solution; F2 = sand +

vermicompost tea on concentration of 10 %; F3 = sand + compost (1:1; v/v) + vermicompost tea on concentration of 2,5 %; F4 = sand + vermicompost (1:1; v/v) + vermicompost tea on concentration of 2.5 % y F5 = sand + compost + vermicompost (2:1:1; v/v) + vermicompost tea on concentration of 2.5 %. The ten treatment combinations were distributed in a completely randomized design with a factorial arrange. The evaluated variables were: total yield, fruits per plant, pulp thickness, length and equatorial diameter of the fruit. Also in tomatoes we determine the nutritional content of the fruit and plant nutritional diagnosis using physiological and biochemical indicators.

Jalapeño pepper yield and fruit number were affected by fertilizer treatments. The Euforia cultivar assessed an increase yield of 56 %, compared to Cenetella cultivar yield, whereas the yield in F5 treatment increased until 22.7 % compared with the control. The study suggests that since there were differences in yield between the organic and inorganic nutrient source, vermicompost tea combined with mixtures of sand: compost: vermicompost may be considered an alternative fertilizer for organic jalapeño pepper production in greenhouse.

Tomatoes plants in the control treatment (sand + inorganic fertilizer) produced higher yields, exceeding at least 11.07, 28.92, 20.47 and 16.36 % for plants organic treatments S2 (sand + VCT to 10 % concentration), S3 (mixture of sand: C + VCT to 2.5 % concentration), S4 (mixture of sand: VC + VCT to 2.5 % concentration) and S5 (mixture of sand: C: VC + VCT). In the treatment S3,

the soluble solids content increased 12.75 % with respect to the S1 treatment. In plants grown under organic fertilization, S2, the content of Ca, Na, Fe, Zn, Mn and NO_3^- increased in 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 and 22 % respectively, compared with the control (S1). While plants grown under organic fertilization S3 the P, Ca, Zn and Mn content in fruit increased in 16.22, 117.93, 32.68 and 23.07 % respectively, compared with the control, S1. The hybrid 'El Cid' had higher fruit weight, equatorial diameter, pericarp thickness, number of fruits per plant and yield. While the hybrid 'Cuauhtémoc' showed the highest levels of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Zn in the fruit. This study showed that organic fertilization treatments (S2 and S5) may be appropriate for greenhouse tomato production.

Physiological and biochemical indicators in tomato. The results show a strong influence of the type of fertilization on the leaf content of N. With respect to the leaf pigments provide good indicators of the level N in the different types of fertilizer. Yield decreased under F2 fertilization in at least 16.45 %, by the above this fertilization obtained better assimilation of NO_3^- .

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
El Cultivo de Tomate.....	5
El Cultivo de Chile	6
El Compostaje y el Compost.....	7
Métodos de Compostaje.....	7
Fases del Compostaje	8
Factores que Influyen en el Compostaje.....	10
El Vermicompostaje y el Vermicompost	13
Participación de las Lombrices en el Proceso de Vermicompostaje	14
Fases del Vermicompostaje.....	16
Los Factores que Influyen en el Vermicompostaje.....	17
Efectos del Vermicompost en el Crecimiento de las Plantas.....	18
Producción de Sustancias Reguladoras del Crecimiento Vegetal.....	20
El Papel de las Sustancias Húmicas como Estimuladoras del Crecimiento Vegetal	24
Los Extractos Acuosa de Compost y Vermicompost.....	26
La Aplicación de Extractos Acuosa al Suelo	28
La aplicación foliar de extractos acuosa de composts	29

Nutrición Mineral de las Plantas	30
Elementos Esenciales	30
Nitrógeno	31
Asimilación del Nitrógeno.....	33
Indicadores Bioquímicos del Estado Nutrimental de la Planta.....	36
MATERIALES Y MÉTODOS	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	63
LITERATURA CITADA.....	65
1.- Impacto del té de vermicompost sobre el crecimiento, rendimiento y contenido nutricional en frutos de tomate y chile jalapeño, bajo condiciones protegidas.....	78
Artículo 1. Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Impacto del té de vermicompost sobre la producción de chile jalapeño, bajo condiciones protegidas	79
Artículo 2. Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Impacto del té de vermicompost sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas.....	93
Artículo 3. Artículo enviado a la Revista ITEA. Fertilización orgánica: alternativa para incrementar el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas	109
Artículo 4. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA: ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE PIQUÍN BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS...	127

2.- Efecto de la fertilización orgánica en los indicadores bioquímicos y fisiológicos en tomate.	139
Artículo 5. Nitrogen metabolism and yield response of tomato plants to organic fertilizer.....	140
APÉNDICE	155
Anexo 1. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.....	156
Anexo 2. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.....	157
Anexo 3. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista ITEA.	158

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1.-	Principales características del compost y vermicompost.....	13
2.-	Elementos esenciales en la mayoría de las plantas, formas de absorción y concentración que se consideran adecuadas.....	32
3.-	Análisis químico del compost, vermicompost y té de vermicompost.....	40
4.-	Solución nutritiva dinámica empleada para el cultivo de tomate.....	41
5.-	Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de tomate saladette, desarrollados con abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero.....	49
6.-	Contenido nutricional de tomate orgánico y convencional.....	51
7.-	Ecuaciones de regresión para las fuentes de fertilización en relación con la altura de planta en chile jalapeño orgánico.....	53
8.-	Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de chile jalapeño, desarrollados bajo condiciones de invernadero.....	56
9.-	Rendimiento y número de frutos por hectárea de dos cultivares de tomate desarrollados bajo fertilización orgánica y convencional.....	57

10.-	Influencia de la fertilización orgánica y convencional sobre los pigmentos y contenido de N orgánico foliar.....	59
11.-	Influencia de la fertilización orgánica y convencional sobre los indicadores fisiológicos.....	60
12.-	Influencia de los fertilizantes orgánicos y convencional sobre la actividad enzimática NR <i>in vivo</i> endógena y sobre la actividad enzimática NR presente en 50 mM NO ₃ ⁻ (NR+NO ₃ ⁻), 20 mM Mo (NR+Mo) y 50 mM NO ₃ ⁻ y 20 mM Mo (NR+NO ₃ ⁻ +Mo) [μ mol (nitritos) g ⁻¹ (p.f) h ⁻¹] en hojas de tomate.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1.- Efectos directos e indirectos de las lombrices durante el vermicompostaje.....	15
2.- Procesos metabólicos que generan amonio en los tejidos vegetales, y su asimilación y transporte.....	35
3.- Asimilación del amonio por el ciclo GS-GOGAT.....	36

INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura ha provocado un efecto desfavorable sobre la calidad biológica de los alimentos, ya que son altamente derrochadores de energía y alteran completamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Altieri, 1999). La creciente demanda de alimentos, de fibras textiles, de agroenergía y de servicios, derivada del crecimiento acelerado de la poblacional mundial, ha llevado, por un lado, al cambio del uso del suelo y a la explotación intensiva de éste y del agua, con el consiguiente deterioro y degradación de los recursos naturales (FAO, 2005) y, por otro, a la generación de una ingente cantidad de residuos sólidos y líquidos de distintas procedencias: agricultura, ganadería, industria agroalimentaria, actividades urbanas, etc. A nivel mundial la producción de residuos agrícolas se estima en 9.657 millones de t año⁻¹ (Lal, 2005). Los residuos orgánicos derivados de las actividades agrícolas representan un potencial importante para la producción de energías alternativas (bioetanol, biodiesel, biogás), son usados para la extracción de sustancias químicas, en la alimentación del ganado y también son una fuente importante de materia orgánica de posible aprovechamiento para mantener la fertilidad del suelo.

El estiércol, los residuos de los cultivos, los abonos verdes, los biosólidos de las agroindustrias y los residuos de alimentos procesados, una vez que son adecuadamente tratados a través del proceso de composteo y/o vermicomposteo (Alidadi *et al.*, 2007), son algunas de las fuentes potenciales de elementos nutritivos de los sistemas de producción orgánica (Ramesh *et al.*, 2005). De acuerdo con Ramesh *et al.* (2005) la producción orgánica es una alternativa para consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y de fertilizantes sintéticos, es decir libres de riesgo, y con un alto valor nutricional.

Hoy en día es ampliamente reconocido que el compost (C) y el vermicompost (VC) constituyen una fuente de elementos nutritivos de lenta liberación, los cuales además se encuentran en formas fácilmente disponibles para las plantas, a medida que las especies vegetales los van demandando (Atiyeh *et al.*, 2001; Chaoui *et al.*, 2003; Cruz-Rodrigues *et al.*, 2003; Raviv, 2005). De hecho existen evidencias de que la incorporación de C y VC a los suelos y sustratos de crecimiento favorece el desarrollo y la productividad de diversos cultivos hortícolas, tales como tomate [*Solanum lycopersicum* L.] (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007), lechuga [*Lactuca sativa* L.] (Steffen *et al.*, 2010), pimiento [*Capsicum annuum* L.] (Arancon *et al.*, 2004a), ajo [*Allium sativum* L.] (Argüello *et al.*, 2006), fresa [*Fragaria vesca* L.] (Arancon *et al.*, 2004b), entre otras especies de interés comercial.

Por otro lado, al mezclar el C y el VC con medios inertes como la arena se mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia. También se

ha establecido que tanto el C como el VC pueden satisfacer la demanda nutritiva de diversos cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales, principalmente de N (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007); lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del N tanto en el C, como en el VC. Debido a lo anterior se ha sugerido que, en los sistemas de producción bajo condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición, entre las cuales se encuentre el té de vermicompost (TVC).

El TVC, solución resultante del VC en agua de la llave que contiene niveles altos de microorganismos benéficos y nutrimentos (Edwards *et al.*, 2010), ha llamado la atención de productores e investigadores en años recientes. La razón más importante para aplicar el TVC es para suministrar biomasa microbiana, partículas finas de materia orgánica y componentes químicos de VC solubles en agua que son aplicados a la capa superficial del suelo y que no podrían ser posible mediante el uso de VC sólido. Sin embargo, a la fecha existen pocas referencias acerca del efecto del TVC en el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas.

Objetivos

1.- Evaluar el impacto del té de vermicompost sobre el crecimiento, rendimiento y contenido nutricional en frutos de tomate y chile jalapeño, bajo condiciones protegidas.

2.- Determinar el efecto de la fertilización orgánica, al uso de indicadores bioquímicos en tomate.

3.- Determinar el efecto de la fertilización orgánica, al uso de indicadores fisiológicos en tomate.

Hipótesis

1.- El crecimiento, rendimiento y contenido nutricional en frutos de tomate y chile jalapeño, bajo condiciones protegidas, no se incrementara por el uso de té de vermicompost.

2.- La actividad de la enzima nitrato reductasa en tomate no se afectara, al uso de fertilización orgánica

3.- Los pigmentos foliares en tomate, no se afectaran por el uso de la fertilización orgánica.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Cultivo de Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Peralta *et al.*, 2005) ocupa el tercer lugar en volumen de producción mundial, por ser la hortaliza que más se cultiva bajo condiciones protegidas. Se consume en todo el mundo y alcanza precios elevados en el mercado internacional en ciertas épocas del año (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2009; Baudoin *et al.*, 2002). En México, el tomate es la segunda especie hortícola más importante en cuanto a superficie sembrada (66,635.31 ha), en sistemas protegidos superan las 1,500 ha (Anónimo, 2009). Se han reportado rendimientos entre 100 y 400 ton ha⁻¹ año⁻¹ (Caraveo-López *et al.*, 1996; Rodríguez-Dimas *et al.*, 2008; Sánchez-del Castillo *et al.*, 2009). A pesar de cultivarse en todos los estados de la República Mexicana, solo siete concentran el 60 % de la producción nacional, destacando el estado de Sinaloa como el principal productor, seguido de Baja California Norte, Michoacán, Jalisco, Zacatecas, San Luis Potosí, y Baja California Sur (SIAP, 2011a). En 2011, la producción nacional de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* Var cerasiforme) se llevó a cabo en 759 ha con rendimientos promedio de 29.8 ton ha⁻¹, destacando Tamaulipas como el principal estado productor, seguido por los estados de Sonora, Colima, Baja California Sur, Nayarit, Baja California Norte y Tlaxcala (SIAP, 2011c). Esta hortaliza es un cultivo interesante para nuevas alternativas de producción, dirigido a satisfacer una demanda creciente,

ya que es muy apreciado en el mercado internacional, siendo sus principales importadores el Reino Unido, Alemania, Estados Unidos, Francia y Canadá (Moccia *et al.*, 1998).

El Cultivo de Chile

Entre las especies con mayor riqueza y biodiversidad en México se encuentra el chile (*Capsicum annuum*) (Hermosillo-Cereceres *et al.*, 2008). El género *Capsicum* de la familia Solanaceae tiene gran importancia económica nacional y mundialmente (Aktas *et al.*, 2009). El chile es una especie de gran importancia comercial y es cultivado para su consumo en fresco, seco y en productos procesados. Según datos de FAOSTAT (2010), la superficie mundial sembrada de chiles asciende a 1.8 millones de hectáreas, con una producción de 29.4 millones de toneladas. Después de China, México es el segundo productor a escala mundial. De acuerdo a la producción obtenida en toneladas, les siguen Turquía, Indonesia, Estados Unidos y España, representando juntos el 76 % del volumen mundial de producción (FAOSTAT, 2010; Aktas *et al.*, 2009). Los principales estados productores de México están en el norte, entre Zacatecas y Chihuahua, mientras que en menor medida están Durango y Coahuila, que incluyen la Comarca Lagunera. En esta región, el cultivo de chile tiene gran importancia en la economía, especialmente el chile jalapeño, ya que es uno de los principales cultivos hortícolas que se siembra en la región después de la sandía, tomate y melón durante el ciclo primavera-verano. La superficie producida en los últimos años fluctúa alrededor de las 6,196 ha, con un rendimiento promedio de 18.5 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2011b).

El Compostaje y el Compost

El proceso de composteo es una descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos (Zucconi y De Bertoldi, 1986) en el cual la materia orgánica lábil es degradada (oxidada) a CO_2 , H_2O , NH_3 , nutrientes inorgánicos y material orgánico estable con sustancias húmicas llamado compost (Cuadro 1) (Contreras-Ramos *et al.*, 2005). Este proceso requiere de seis meses como mínimo y un continuo mezclado que frecuentemente ocasiona pérdidas de elementos nutritivos, i.e. NH_3 .

Métodos de Compostaje

Existe un cierto número de sistemas de compostaje, que pueden agruparse en abiertos y cerrados. En los sistemas cerrados, la degradación se realiza en el interior de unos reactores sometidos a unas condiciones aeróbicas, sus principales ventajas de estos sistemas radica en la rapidez del proceso y en la reducción de los efectos contaminantes, mediante biofiltros. Como principales inconvenientes cabe indicar tanto el alto costo de adquisición de los equipos, como la dificultad de su mantenimiento (Cruz, 2009).

Los sistemas abiertos son los más económicos y fáciles de gestionar, por lo que están al alcance de cualquier colectivo y, por tanto, son los más utilizados. En este tipo de sistemas, los residuos orgánicos no se depositan en el interior de reactores, más bien se distribuyen en pilas o montones al aire libre o bajo cubierta, y la aireación se realiza con volteos regulares en forma manual

o con el uso de maquinaria. También se pueden usar sistemas más tecnificados en pilas estáticas que dispongan de sistemas de inyección o de extracción de aire, con los que se busca acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (Richard y Rynk, 2005). El uso de pilas con volteos regulares ha resultado ser el método más adecuado para el procesamiento de los residuos sólidos y semisólidos de almazara (Cegarra *et al.*, 2006). Con este método durante el compostaje de los residuos de almazara se han mostrado parámetros de evolución y características aceptables de los productos finales (Canet *et al.*, 2002; García *et al.*, 2003; Paredes *et al.*, 2005), en unos niveles comparables con los obtenidos en sistemas de pilas estáticas con aire forzado y volteos regulares (Cegarra *et al.*, 2006; Albuquerque *et al.*, 2006a, 2006b). Éste último si bien es un sistema que acelera la descomposición de los residuos (Cegarra *et al.*, 2006), también requiere de una mayor inversión, que puede encarecer el proceso.

Fases del Compostaje

El proceso de descomposición aerobia de los restos orgánicos se inicia en una fase mesofílica, con la descomposición microbiológica de los compuestos solubles y de elevada disponibilidad (azúcares, aminoácidos), a través de la acción de poblaciones de bacterias y hongos mesófilos (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Celullomonas* y *Enterobacter*), que rompen rápidamente los compuestos solubles fácilmente degradables. Debido a que se origina un incremento de la actividad metabólica, como resultado de la biodegradación se produce un incremento gradual de la temperatura hasta alcanzar valores de 40

a 65 °C. Cuando la temperatura alcanza alrededor de los 40 °C, se desarrollan las poblaciones de bacterias y hongos termófilos, y los primeros actinomicetos, los cuales desarrollan elevadas tasas de degradación. Las bacterias que predominan a 65 °C son las esporuladas como *Bacillus brevis*, *B. circulans*, *B. cuagulans*, *B. licheniformis*, *B. subtilis* y *B. setearothermophilus*, que realizan aproximadamente un 10 % de la descomposición (Goyal *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2002; Tuomela *et al.*, 2000). Los principales actinomicetos termotolerantes identificados en esta fase son: *Nocardia spp.*, *Streptomyces rectus*, *S. thermofuscus*, *S. thermovulgaris*, *S. thermoviolaceus*, *Thermoactinomyces vulgaris* y *Thermomonospora*, los cuales son responsables de un 15 a 30 % de la descomposición (Paul, 2007). En esta fase todos los compuestos simples son metabolizados y quedan los más complejos (hemicelulosa, celulosa y lignina), que se degradan a tasas más lentas en las siguientes fases. Por encima de 70 °C disminuye la actividad microbiana. En esta fase es muy importante llevar un seguimiento intenso de la evolución de la temperatura y humedad a diferentes profundidades de las pilas, debido a que son los parámetros principales a tomar en cuenta para realizar los volteos en sistemas abiertos. El volteo regular de los residuos durante esta fase permite prolongar la fase termofílica, así como garantizar una adecuada oxigenación de los mismos, y la descomposición e higienización de los materiales poco degradados, que se hallan en los bordes de la mezcla inicial. En las primeras dos fases se destaca la participación de las enzimas deshidrogenasa, proteasa, β -glucosidasa y fosfatasa indicadoras del metabolismo microbiano, así como la degradación de polipeptidos, polisacáridos y ésteres fosfato, respectivamente (Lazcano *et al.*, 2008). La

tercera fase de enfriamiento se produce cuando la fuente de carbono directamente disponible comienza a ser un factor limitante, ocasionando un descenso en la actividad microbiana y en la temperatura. En esta fase predominan los hongos que actúan sobre polímeros, como la lignina y la celulosa, y sobre la biomasa bacteriana. Los hongos son los responsables de la pérdida del 30 al 40 % del peso y están implicados en la humificación de los restos orgánicos (Hassen *et al.*, 2001). Los principales hongos identificados en el compostaje son: *Absidia*, *Mucor*, *Allescheria*, *Cheatomium*, *Thermophilum*, *Dactylomyces*, *Talaromyces (Penicillium)*, *Coprinus*, *Lenzites* y *Sporotrichum* (Tuomela *et al.*, 2000). Por último, en la fase de maduración continúa el proceso de humificación y, al igual que en la fase de enfriamiento, aparecen otros organismos como protozoos, nemátodos, miriápodos, etc (Taiz y Zeiger, 2006). Al final de esta fase se debe obtener un material caracterizado por unos niveles aceptables de humedad, un alto nivel de estabilidad, con un bajo o nulo grado de fitotoxicidad.

Factores que Influyen en el Compostaje

Para que el compostaje se desarrolle adecuadamente es imprescindible un buen control de los parámetros determinantes, que son los siguientes:

- Microorganismos: en el compostaje intervienen diversas especies de bacterias, hongos y actinomicetos, cuyas poblaciones se suceden a lo largo de las distintas fases del proceso.
- Humedad: es uno de los principales parámetros a controlar, ya que en los casos en que resulte excesiva, el agua desplazará al aire contenido en los

espacios intersticiales dando lugar a reacciones de anaerobiosis, lo que además de reducir la velocidad del proceso, suele generar malos olores. Los niveles óptimos de humedad están comprendidos entre 40 y 60% (Golueke, 1975).

- Temperatura: varía ampliamente a lo largo del compostaje, y resulta también de capital importancia para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso. Un requisito importante es que en la fase termofílica se alcancen temperaturas suficientemente altas (60 a 70 °C), capaces de reducir la población de microorganismos patógenos (higienización).

- Aireación: dado que el compostaje es un proceso de oxidación, resulta imprescindible la presencia de un nivel adecuado de aire y por tanto de oxígeno, para lo cual se recurre al volteo periódico o a la ventilación forzada de las pilas. Cuando la aireación es insuficiente la fracción orgánica se descompone lentamente y de forma anaerobia, originando malos olores, menores temperaturas y un material de mala calidad.

- Tamaño de partícula: dado que la actividad microbiana se desarrolla principalmente en la superficie de las partículas, cuanto mayor es la superficie del sustrato mayor será la rapidez del ataque microbiano. No obstante, un tamaño muy fino de partícula no es conveniente debido a los riesgos de compactación del sustrato, lo que dificultaría una aireación adecuada. Los tamaños de partículas considerados óptimos oscilan entre 1 y 5 cm (Kiehl, 1985).

- pH: este parámetro afecta a las reacciones enzimáticas, de ahí que sea también un indicador importante de la evolución del compostaje. Las reacciones que más influyen en el pH son las de liberación de CO_2 , de ácidos orgánicos y de iones alcalinos.

- Relación C/N: se precisa que en la mezcla inicial este parámetro presente un valor entre 25 y 30. Cuando los residuos del sustrato superan el nivel de 30 denotan unos materiales ricos en carbohidratos y pobre en compuestos nitrogenados, y en tales circunstancias las reacciones biológicas se ralentizan por falta de nitrógeno, mientras que si la relación es inferior a este rango, el nitrógeno puede perderse por volatilización en forma de amoníaco, especialmente a pH alcalino y temperaturas elevadas. En general, se debe garantizar que exista una proporción considerable de nitrógeno disponible y necesario para el desarrollo de la actividad microbiana que interviene en la descomposición de los residuos.

- Naturaleza química del sustrato: la naturaleza de los compuestos estructurales influyen en la velocidad del proceso de degradación. Así, cuando predominan los compuestos bioresistentes (lignina, celulosa, grasas, etc.) la degradación de los residuos es mucho más lenta que cuando predominan los compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Asimismo, el contenido y proporción de los nutrientes esenciales para el metabolismo microbiano (carbono, nitrógeno, fósforo, microelementos, etc.) también presentan una gran influencia en la velocidad del compostaje.

Cuadro 1. Principales características del compost y vermicompost.

Parámetro	Compost		Vermicompost	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Capacidad de retención de humedad (g agua/100 g)	107	121	166	199
Materia orgánica	6.22	61	8.61	81.8
Humedad (% peso seco)	20	81.1	27.0	89.8
Porosidad Total (%)	40	80	50.2	81
Aireación (%)	10	45	10.04	45
Contenido de C (%)	14.91	70.3	18.5	43.8
Relación C/N	7.05	17.10	8.13	24.4
pH	5.7	8.5	5.3	7.78
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	20.30	31.10	8.5	55
CE (dS m ⁻¹)	0.34	13.4	0.78	5.62
N total (%)	0.35	4.63	0.48	3.1
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	15	769	345	4525
Ca ²⁺ (%)	0.60	11.02	0.62	8.6
Na ⁺ (%)	0.05	0.84	0.08	0.12
Mg ²⁺ (%)	0.27	1.87	0.13	0.80
K ⁺ (%)	0.3	3.3	0.21	6.8
Cl ⁻ (μg g ⁻¹)	523	7207	723	15200
Índice de germinación para berro (%)	54	83	26	95
Densidad aparente (mg m ⁻³)	0.3	0.7	0.33	0.57
Evolución de CO ₂ (mg CO ₂ -C kg ⁻¹ compost-C día ⁻¹)	100	5000	88	4000

Fuente: Atiyeh *et al.*, 2001, 2000a, 2000b; Contreras-Ramos *et al.*, 2005; De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009, 2010; Duran y Henríquez, 2007; Fornes *et al.*, 2012; Gunadi y Edwards, 2003; Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011, 2007; Hernández *et al.*, 2008, 2010; Lazcano *et al.* 2008, 2009; Márquez *et al.* 2008; Olivares-Campos *et al.* 2012; Pant *et al.* 2011; Rodríguez *et al.* 2011; Suthar, 2007; Tringovska y Dintcheva, 2012; Warman y AngLopez, 2010; Zhai *et al.*, 2009.

El Vermicompostaje y el Vermicompost

El vermicompostaje se define como un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica, a través de la acción conjunta de algunas lombrices de tierra y microorganismos, mediante el que se obtiene un material final estabilizado, homogéneo, rico en nutrientes y de granulometría fina denominado vermicompost (Cuadro 1) (Domínguez, 2004). De acuerdo a Fornes *et al.* (2012), este proceso necesita tener un manejo adecuado de la población de lombrices, por lo que se tiene que llevar a cabo en un rango estrecho de temperatura (25 a 40 °C) y alta humedad (70 a 90 %).

En la descomposición de la materia orgánica hay una sucesión de transformaciones físicas y químicas en el suelo que conducen a la mineralización de una parte del recurso y el depósito de compuestos resistentes en forma de humus. Los microorganismos producen las enzimas responsables de la descomposición bioquímica de la materia orgánica, las lombrices son elementos clave del proceso e influyen en él a través de efectos directos e indirectos. Los efectos indirectos derivan de los directos (Figura 1) e incluyen procesos de envejecimiento y mezclado de materiales modificados por las lombrices con otros sustratos orgánicos no modificados por ellas (Domínguez *et al.*, 2003; (Aira y Domínguez, 2010).

Participación de las Lombrices en el Proceso de Vermicompostaje

Las lombrices participan en el proceso realizando diferentes acciones a diferentes niveles espaciales y temporales; entre sus roles más importantes cabe destacar: a); la fragmentación física del sustrato orgánico que aumenta la superficie de ataque para los microorganismos al fragmentarlo, b) la modificación, transporte e inóculo de la microflora presente en el residuo (Lores *et al.*, 2006, Aira *et al.*, 2007a,b); y c) la aireación del sustrato a través de sus actividades de excavación y deyección. De hecho, las transformaciones de las propiedades físico-químicas y bioquímicas de los sustratos orgánicos (Domínguez, 2004) y la rapidez con que estas transformaciones ocurren (Aira *et al.*, 2002) hacen del proceso de vermicompostaje un buen sistema para estudiar

las relaciones entre las lombrices de tierra epigeas y los microorganismos (Aira *et al.* 2006, 2007a,b).

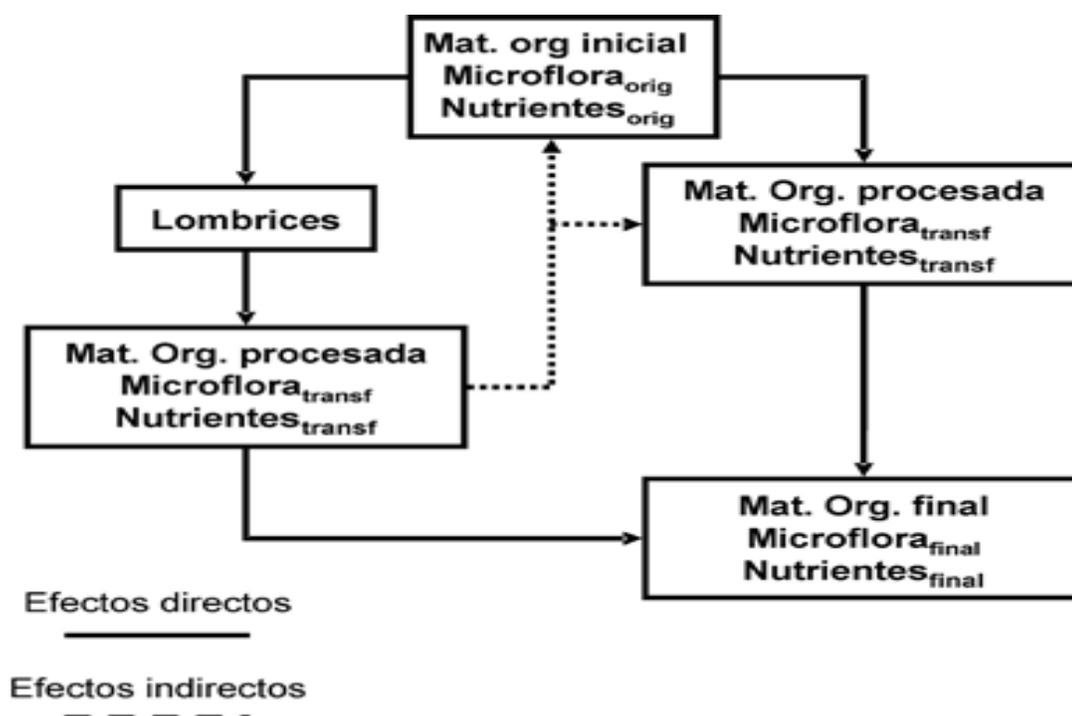


Figura 1. Efectos directos e indirectos de las lombrices durante el vermicompostaje. Las líneas sólidas representan efectos directos y las punteadas efectos indirectos (Aira y Domínguez, 2010).

Las especies de lombrices más utilizadas son las denominadas como *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, debido entre otras razones a que: a) son especies que tienen la capacidad de colonizar diferentes residuos orgánicos, b) toleran amplios intervalos de temperatura y humedad, c) son resistentes y fáciles de manejar, d) presentan una elevada tasa reproductora que les permite colonizar diferentes ambientes ricos en restos orgánicos, y e) su longevidad es muy superior a la de las lombrices comunes (Nogales, 2005).

de potasio, calcio y de metales como el hierro, zinc, plomo y cadmio en comparación con los valores observados en el material inicial, h) excelentes niveles de aireación, porosidad, estructura, drenaje, capacidad de almacenamiento de agua, y con un nivel considerable de nutrientes esenciales fácilmente disponibles para las plantas, i) bajos niveles de fitotoxicidad, y j) reducción moderada en los niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina (Benítez *et al.*, 2002; Singh y Sharma, 2002; Garg *et al.*, 2006; Frederickson *et al.*, 1997; Domínguez, 2004; Suthar y Singh, 2008; Aira y Domínguez, 2008).

Los Factores que Influyen en el Vermicompostaje

El vermicompostaje es una tecnología considerada como económicamente viable, de fácil implementación y que en general ofrece múltiples ventajas para el aprovechamiento agrícola de los residuos de almazara. Si bien resulta sencilla, también es necesario tomar en cuenta una serie de parámetros mínimos para que el proceso de vermicompostaje se lleve a cabo de forma eficaz (Nogales, 2005). Estos parámetros son los siguientes:

- La temperatura óptima para el adecuado desarrollo de las lombrices se encuentra entre los 18 y 24 °C. Es muy importante evitar que los residuos se calienten en su degradación, porque puede influir de manera negativa en la colonización del medio.
- El pH del medio debe oscilar entre 5.0 y 8.5.
- La humedad del medio debe encontrarse entre un 80 y 90 %, procurando que la humedad se distribuya lo más homogéneamente posible, una falta o un

exceso de humedad pueden provocar muerte o migración de las lombrices, ocasionando una menor eficiencia en la degradación de los residuos.

- Los residuos en descomposición deben presentar una conductividad eléctrica inferior a 7 dS m^{-1} .

- El nivel de nitrógeno es muy importante para la colonización de los residuos, pero la concentración de amonio no debe superar los 0.5 mg g^{-1} .

Por todo esto, las características fisicoquímicas y químicas de los residuos a procesar tienen una importancia preponderante en la capacidad de colonización y desarrollo de las lombrices. En general, resulta necesario destacar el nivel de nutrientes en los residuos y, en particular, los contenidos de nitrógeno y fósforo necesarios para el crecimiento y desarrollo de la población de lombrices.

Efectos del Vermicompost en el Crecimiento de las Plantas

Se ha demostrado que la adición del vermicompost a los suelos y sustratos de cultivo incrementa considerablemente el crecimiento y la productividad de una gran cantidad de cultivos hortícolas tales como el tomate (Atiyeh *et al.*, 1999, Atiyeh *et al.*, 2000a, Atiyeh *et al.*, 2000c, Atiyeh *et al.*, 2001, Hashemimajd *et al.*, 2004, Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007, Steffen *et al.*, 2010), la lechuga (Steffen *et al.*, 2010), los pimientos (Arancon *et al.* 2004a), los ajos (Argüello *et al.*, 2006), las fresas (Arancon *et al.*, 2004b), algunas plantas medicinales (Prabha *et al.*, 2007), algunas leguminosas como el garbanzo verde (Karmegam *et al.*, 1999), algunas gramíneas como el sorgo (Reddy y Ohkura, 2004, Sunil *et al.*, 2005) y el arroz (Bhattacharjee *et al.*, 2001), algunas hierbas aromáticas como la albahaca (Anwar *et al.*, 2005), algunos frutales como el plátano (Cabanas

Echevarria *et al.*, 2005) y la papaya (Acevedo y Pire, 2004), y algunas plantas ornamentales como los geranios (Chand *et al.*, 2007), los tajetes (Atiyeh *et al.*, 2002a), las petunias (Arancon *et al.*, 2008), los crisantemos (Hidalgo y Harkess, 2002a) y las flores de pascua (Hidalgo y Harkess, 2002b).

A diferencia de los fertilizantes minerales, el vermicompost constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando (Chaoui *et al.*, 2003). Además, la adición de vermicompost puede producir una mejora significativa en las propiedades físicas tanto de los sustratos artificiales de cultivo (Hidalgo y Harkess, 2002a, b) como del suelo (Marinari *et al.*, 2000, Atiyeh *et al.*, 2001, Bhattacharjee *et al.*, 2001, Ferreras *et al.*, 2006).

Por otra parte la aparición de otros trabajos ha puesto de manifiesto que los efectos del vermicompost podrían no reducirse a los meramente físicos y/o químicos y señalan la posible existencia de mecanismos biológicos de estimulación del crecimiento vegetal. Scott (1988) observó que la adición de pequeñas dosis de vermicompost al medio de cultivo de las especies ornamentales *Chaemocypris lawsonian*, *Elaeagnus pungens*, *Cupressocypris leylandii*, *Phyracantha* spp., *Cotoneaster conspicus* y *Viburnum bodnantense* producía incrementos significativos en el crecimiento respecto a un medio control suplementado con una dosis de nutrientes equivalente. Edwards y Burrows (1988) señalaron que el crecimiento de varias especies ornamentales, cultivadas en los sustratos originados tras el procesamiento de

residuos orgánicos por la especie de lombriz *Eisenia fetida*, fue mucho mayor de lo esperable para ser causado únicamente por la modificación en la disponibilidad de nutrientes por la acción de las lombrices. Señalaron además que estos efectos se mantenían aun cuando el vermicompost era diluido en proporción 20:1 con otros materiales de cultivo, y el contenido de nutrientes era igualado al de los fertilizantes minerales. Además, el patrón de crecimiento de las plantas, que incluía alteraciones en el desarrollo foliar, en la elongación de la raíz y del tallo, y floración, apuntaba a la posible existencia de algún factor biológico distinto al del aporte de nutrientes, como la producción de sustancias capaces de influenciar el crecimiento vegetal (ácidos húmicos, enzimas libres), como responsables de estos efectos.

Producción de Sustancias Regulatoras del Crecimiento Vegetal

Parece claro que la rápida descomposición de los residuos orgánicos que llevan a cabo las lombrices con los microorganismos, da lugar a sustratos con una actividad y diversidad microbianas considerablemente mayores que las del residuo de partida, llegándose a multiplicar varias veces los valores iniciales (Aira *et al.*, 2007c). Este incremento de la actividad microbiana además de aumentar la tasa de transformación de nutrientes a formas más fácilmente asimilables por las plantas, puede afectar al crecimiento vegetal mediante el incremento en la actividad enzimática, la supresión de enfermedades y la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, ó PGRs (Plant Growth Regulating Substances) como se ha venido demostrando últimamente.

A lo largo de los últimos años se han aportado gran cantidad de pruebas que demuestran que los microorganismos, incluyendo algas, levaduras, actinomicetos, hongos y bacterias son capaces de producir PGRs tales como auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico en cantidades apreciables (Arshad y Frankemberger, 1993, Frankemberger y Arshad, 1995). Muchos de los microorganismos que se pueden encontrar en la rizosfera son capaces de producir tales sustancias (Vessey, 2003). Barea *et al.* (1976) encontraron que de 50 cepas bacterianas aisladas de la rizosfera de distintas especies vegetales, un 86% era capaz de producir auxinas, un 58% giberelinas, y un 90% sustancias con actividad kinetina. Existen gran cantidad de trabajos que demuestran la producción de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal por poblaciones mixtas de microorganismos del suelo, pero sin embargo existe poca información acerca de su disponibilidad para las plantas, su persistencia y degradación en el suelo, así como de sus efectos en el crecimiento vegetal (Arshad y Frankemberger, 1993, Frankemberger y Arshad, 1995).

Algunos trabajos demuestran que las sustancias reguladoras del crecimiento vegetal pueden ser tomadas por las plantas en cantidades suficientes como para producir cambios en su crecimiento. Algunos ejemplos incluyen el aumento del crecimiento de gramíneas por auxinas producidas por *Azospirillum brasilense* (Kucey, 1983, Barbieri *et al.*, 1986) o la promoción del crecimiento de la caña de azúcar por auxinas producidas por rizobacterias del género *Enterobacter* (Mirza *et al.*, 2001). Existe una evidencia creciente de que

las giberelinas de origen microbiano pueden alterar el crecimiento y desarrollo vegetal. Recientemente, Gutiérrez-Mañero *et al.* (2001) demostraron que determinados extractos de las rizobacterias *Bacillus pumilus* y *Bacillus licheniformis* contenían giberelinas capaces de estimular el crecimiento de mutantes enanos de alisos. Por otra parte, el incremento en el vigor de las plántulas de algunas especies vegetales ha sido atribuido a la producción de citoquininas por los microorganismos *Arthrobacter* y *Bacillus* spp. en el suelo (Inbal y Feldman, 1982; Jagnow, 1987).

Se ha sugerido que las lombrices podrían ser agentes importantes capaces de influenciar la producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal por los microorganismos mediante la estimulación y promoción de la actividad microbiana tanto en suelos como en sustratos orgánicos (Nielson, 1965, Springett y Syers, 1979, Graf y Makeschin, 1980, Tomati *et al.*, 1983, Grappelli *et al.*, 1987, Dell'Agnola y Nardi, 1987, Nardi *et al.*, 1988, Tomati *et al.*, 1987, 1988, 1990, Tomati y Galli, 1995). Krishnamoorthy y Vajranabhiah (1986) demostraron, mediante experimentos llevados a cabo con varias poblaciones de lombrices, que siete de las especies estudiadas eran capaces de incrementar la producción de auxinas y citoquininas en residuos orgánicos. Además mostraron que existía una fuerte correlación entre las poblaciones de lombrices y la cantidad de auxinas y citoquininas encontradas en 10 suelos de cultivo diferentes. Estos autores señalaron que ambas sustancias podían persistir en el suelo hasta 10 semanas, aunque podían ser degradadas en pocos días si eran expuestas a la luz solar.

Existen otros autores que sostienen que las lombrices son las responsables de la producción de sustancias con efecto hormonal. El primero en sugerir esta teoría fue Gavrilov (1963), y esta teoría fue reforzada por la primera prueba de la presencia de PGRs en tejidos de *Aporrectodea caliginosa*, *Lumbricus rubellus*, y *E. fetida*, aportada por Nielson (1965), el cual aisló sustancias indólicas de las lombrices y observó un incremento significativo en el crecimiento de plantas de guisante debido a la adición de extractos de las lombrices. Nielson extrajo además una sustancia de las especies *Aporrectodea longa*, *Lumbricus terrestris*, y *Dendrobaena rubidus*, capaz de estimular el crecimiento vegetal; sin embargo, sus experimentos no excluían la posibilidad de que dichas sustancias procediesen de los microorganismos existentes en el intestino y tejidos de las lombrices.

Graff y Makeschin (1980) estudiaron los efectos de sustancias producidas por *L. terrestris*, *A. caliginosa* y *E. fetida* en la producción de biomasa de la ballica (*Lolium* sp.). Añadieron los lixiviados del riego de macetas que contenían lombrices a macetas sin lombrices, y concluyeron que ciertas sustancias capaces de influenciar el crecimiento vegetal, ó PGIs (Plant Growth Influencing Substances), habían sido liberadas en el suelo por las tres lombrices, aunque no siguieron especulando acerca de la naturaleza de estas sustancias. Más recientemente, El Harti *et al.* (2001a, 2001b) mostraron que un extracto bruto de la lombriz *L. terrestris* era capaz de estimular la rizogénesis en semillas de haba debido a la presencia de compuestos indólicos de origen

endógeno. Tomati *et al.* (1983, 1987, 1988), Tomati *et al.* (1990), Grapelli *et al.* (1987) y Tomati y Galli (1995) observaron que los incrementos en el crecimiento de varias especies ornamentales y champiñones al aplicar vermicompost de diferentes especies eran mucho mayores de lo que cabía esperar por el mero aporte de nutrientes contenidos en las dosis de humus aportadas. Además los efectos sobre el crecimiento incluían la estimulación del enraizado, cambios en el tiempo de floración y el alargamiento de los entrenudos. Mediante la comparación del crecimiento de *Begonia*, *Petunia* y *Coleus*, tras la adición de extractos acuosos de vermicompost o auxinas, giberelinas y citoquininas, concluyeron que existía gran evidencia de efectos hormonales originados por la actividad de las lombrices.

El Papel de las Sustancias Húmicas como Estimuladoras del Crecimiento Vegetal

El vermicompost originado a partir de residuos ganaderos, restos de comida, lodos de depuradora ó lodos de la industria papelera, contiene gran cantidad de sustancias húmicas (Atiyeh *et al.*, 2002b, Canellas *et al.*, 2002, Arancon *et al.*, 2002). Los estudios realizados acerca de los efectos de estas sustancias sobre el crecimiento vegetal, bajo condiciones de nutrición mineral adecuada, han mostrado resultados muy positivos (Chen y Aviad, 1990, Hayes y Wilson, 1997). Las sustancias húmicas incrementaron de forma significativa la producción de biomasa de plántulas de maíz y avena (Lee y Bartlett, 1976, Albuzio *et al.*, 1994), el número y la longitud de raíces en plantas de tabaco (Mylonas y Mccants, 1980), la biomasa de tallos, raíces y nódulos en soja,

cacahuete, y trébol (Tan y Tantiwiranond, 1983), el crecimiento vegetativo en plantas de chicoria (Valdrighi *et al.*, 1996) y la inducción de la formación de tallos y raíces de ciertos cultivos tropicales en cultivo *in vitro* (Goenadi y Sudharama, 1995). El tratamiento de células de zanahoria con sustancias húmicas extraídas de las deyecciones de *A. rosea* aumentó el crecimiento celular e indujo cambios morfológicos similares a los inducidos por las auxinas (Muscolo *et al.*, 1999).

La adición de sustancias húmicas a los sustratos de cultivo produce una curva de crecimiento típica de una respuesta hormonal. A concentraciones bajas, el aporte de sustancias húmicas produce un incremento proporcional en el crecimiento de la planta, mientras que a concentraciones mayores se observa una disminución del crecimiento. Este mismo patrón se ha observado tras la adición de vermicompost a sustratos de cultivo fertilizados con cantidades abundantes de los nutrientes esenciales (Atiyeh *et al.*, 1999, 2000a, b, c, d).

En los últimos años se ha investigado la actividad biológica de las sustancias húmicas, especialmente de las derivadas de las deyecciones de las lombrices de tierra (Dell'Agnola y Nardi, 1987, Nardi *et al.*, 1988, Muscolo *et al.*, 1993). Las sustancias húmicas están formadas por asociaciones supramoleculares de moléculas orgánicas relativamente pequeñas agrupadas principalmente por enlaces hidrofóbicos. Estos complejos moleculares pueden disociarse dando lugar a fracciones de mayor ó menor peso molecular. Se ha comprobado que la actividad biológica se encuentra ligada a las fracciones de menor peso molecular (Dell'Agnolla y Nardi, 1987) que son las que más fácilmente se

absorben y alcanzan la pared celular de las plantas (Nardi *et al.*, 2002). Estas fracciones, en las que se han encontrado adsorbidas ciertas fitohormonas como el ácido indol acético (Quaggiotti *et al.*, 2004, Canellas *et al.*, 2002), son capaces de inducir la formación y el crecimiento de raíces laterales por medio de la activación de las bombas de H⁺-ATPasa de la membrana celular y de las vacuolas (Canellas *et al.*, 2002, Zandonadi *et al.*, 2006), así como de incrementar la absorción de nutrientes como los nitratos, mediante la activación de la transcripción de genes responsables de su transporte y metabolismo (Quaggiotti *et al.*, 2004).

Los Extractos Acuosaos de Compost y Vermicompost

Diver (2002) define un “extracto de compost” ó “extracto de vermicompost” como un extracto acuoso elaborado con compost ó vermicompost en suspensión en agua usualmente obtenido por agitación en un medio aerobio o anaerobio, que puede ser usado como fertilizante líquido por su contenido en nutrientes solubles.

El “té de compost” es un extracto de compost, rico y activado con microorganismos, y que es obtenido a partir de composts después de varios días de maceración en agua, mantenido en agitación y oxigenación o colocado en reposo. El té de compost activado con microorganismos usualmente se aplica para controlar enfermedades ocasionadas por hongos en el sistema radical o en la parte foliar de los cultivos, y en menor medida para mejorar el

estado nutricional de las plantas. La efectividad de este tipo de productos está en función de la edad del compost y la naturaleza de los residuos o ingredientes de origen (Labrador, 1996).

El “té de vermicompost” es un extracto acuoso de vermicompost, que mejora el estado nutrimental de la planta e incrementa el rendimiento cuando es aplicado vía foliar o al suelo. Este beneficio se obtiene mediante: a) el aumento de las comunidades microbianas benéficas y sus efectos en los suelos y plantas; b) mejora el estado nutricional de la planta; y c) induce la producción de compuestos de defensa en la planta que tienen actividad biológica benéfica en el ser humano (Weltzien, 1991; Carpenter-Boggs, 2005; Ingham, 2005; Diver, 2001). Aunque la química y microbiología del extracto de vermicompost es complejo, se cree que los elementos minerales solubles extraídos del vermicompost tienen efectos positivos en el crecimiento de la planta con aplicaciones vía foliar (Ingham, 2005). También se postula la idea que la acción de los microorganismos y metabolitos microbianos estimulan el crecimiento de la planta (Carpenter-Boggs, 2005; Diver, 2001). Reguladores de crecimiento o fitohormonas extraídos del vermicompost también pueden tener un efecto positivo en el desarrollo radicular inicial y en el crecimiento de la planta (Keeling *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2006). La extracción del té de vermicompost puede ser bajo condiciones de aireación o sin aireación. Durante la extracción aireada, el aire es bombeado a través del contenedor que mantiene el agua y vermicompost para mantener niveles de oxígeno de 5 ppm (Ingham, 2005). Azúcar, granos, emulsiones de pescado, extractos de algas, ácidos húmicos

entre otros productos son comúnmente usados como aditivos durante la extracción del té aireado para incrementar la actividad microbiana del producto final (Pant *et al.*, 2011).

La Aplicación de Extractos Acuosa al Suelo

Los extractos o tés están constituidos por sustancias orgánicas y nutrientes minerales disueltos y fácilmente disponibles para las plantas (Janzen *et al.*, 1995; Welke, 2001; Gramss *et al.*, 2003). Este tipo de extractos aplicados al suelo a razón de 5, 10, 11 y 50 $\mu\text{g C ml}^{-1}$ de agua influyeron en la actividad biológica del suelo y favorecieron el desarrollo de microorganismos que intervienen en los ciclos de los nutrientes; en particular promovieron una mayor población de microorganismos reductores de azufre y estimularon la actividad enzimática en el suelo, pero tuvieron nulos efectos en la fijación biológica de nitrógeno (Janzen *et al.*, 1995). Los mejores resultados se han encontrado con los extractos obtenidos de composts maduros en combinación con la fertilización mineral, con los que se observaron incrementos significativos en el crecimiento de canola (*Brassica napus* L.) bajo solución nutritiva; sin embargo, el efecto promotor de los extractos disminuyó rápidamente a unas proporciones superiores a 1:3 v:v en agua (Keeling *et al.*, 2003). En este mismo sentido, Gramss *et al.* (2003) con extractos de chicharo (*Pisum sativum* L.) (9.8 g de peso seco L^{-1} de agua) aplicados una sola vez a 0.7 L kg^{-1} de suelo en el sistema de riego en diferentes especies cultivadas bajo sistemas de producción ecológica, encontraron que los extractos incrementaron respecto al tratamiento control, el peso fresco de plantas entre un 38 a un 84 %. Asimismo, las plantas

tratadas con estos extractos presentaron los mayores contenidos de calcio, potasio, magnesio y nitrógeno orgánico, un bajo contenido de arsénico y níquel, así como un alto valor nutritivo.

La aplicación foliar de extractos acuosos de composts

Los extractos de compost en aspersiones foliares han resultado interesantes en el control de enfermedades, un efecto que se ha asociado a su contenido en sustancias fenólicas y en otro tipo de ácidos orgánicos, así como a su contenido de microorganismos beneficiosos. En relación a ello, las aspersiones con extractos de composts mantenidos en agitación o en reposo se han reflejado en un menor daño por *Botrytis*, pero en otros estudios este tipo de productos han dado resultados inconsistentes (Welke, 2005). Los efectos de las aspersiones foliares sobre la nutrición y el crecimiento de las plantas parece depender tanto de la especie como de las dosis y tipos de productos utilizados para la obtención de los extractos (Alromian y Nassar, 2004; Welke, 2001, 2004). Así, los extractos activados de compost a unas proporciones de 8:1 y 4:1 v:v en agua y aplicados a 1.3 L m⁻² resultaron más efectivos al aumentar un 24% el rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa*) en comparación con el uso de extractos no activados con microorganismos (Welke, 2005), en tanto que la aspersión con vermicompost en suspensión en agua a unas proporciones de 1:3 y 1:5 v:v en pimiento (*Capsicum annuum* L.) presentó efectos beneficiosos en el contenido de vitamina C y capsicina, así como en la absorción de fósforo, hierro, cinc, cobre y manganeso (Maheswari *et al.*, 2003, 2004); pero con la aplicación foliar de extractos de residuos sólidos urbanos a unas

concentraciones de 1, 2 y 3 % en arugula (*Eruca versicaria* Subsp. *sativa*) y en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) se obtuvieron similares rendimientos en peso seco que en un control sin tratamiento foliar (Alromian y Nassar, 2004).

Nutrición Mineral de las Plantas

Los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grupos: orgánicos e inorgánicos. Los primeros representan entre el 90 y 95 % del peso seco de la plantas y están constituidos por los elementos: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H), obtenidos a partir del CO₂ de la atmósfera y agua del suelo. El 5-10 % restante constituye la denominada fracción mineral, en la cual se involucra: a) el papel de los elementos minerales en el metabolismo de las plantas, b) su absorción, asimilación y transporte de estos, y c) su relación con la producción agrícola (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Elementos Esenciales

Un elemento se considera esencial: a) cuando su ausencia determina la incapacidad de la planta para desarrollar un ciclo vital completo, b) cuando no puede ser reemplazado por otro elemento mineral, y c) cuando está directamente implicado en el metabolismo (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los elementos esenciales se dividen en dos categorías: a) macronutrientes, y b) micronutrientes. Esta distinción refleja las concentraciones relativas halladas en los tejidos o que son necesarias en las soluciones nutritivas. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) constituyen,

junto con H, C y O, la totalidad de los macroelementos. Gran parte de ellos están implicados en la estructura de las moléculas, y su nombre hace referencia a que se necesitan en grandes cantidades (Cuadro 2); su presencia en los tejidos está siempre por encima del 0.1 % ($30 \mu\text{mol g}^{-1}$ de peso seco) (Salisbury y Ross, 1992; Marschner, 1995; Epstein y Bloom, 2005).

Nitrógeno

El N es el nutriente más importante para el desarrollo de las plantas, dada su abundancia en las principales biomoléculas de la materia viva, y por lo tanto con cierta frecuencia se convierte en un factor limitante para el desarrollo y crecimiento óptimo de las mismas (Lawlor, 2002). Las formas iónicas preferentes de absorción de N por la raíz son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+) (Chaillou y Lamaze, 2001). Existe también la posibilidad de conseguir N_2 atmosférico, fijado simbióticamente por leguminosas y otras familias de plantas gracias a microorganismos del género *Rhizobium* y *Frankia*, y también por la absorción de amoníaco (NH_3^+), que se introduce a la planta a través de los estomas; ambos terminan convirtiéndose en NH_4^+ (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Por lo general, el NO_3^- potencia de una manera más importante que el NH_4^+ el crecimiento de las plantas, puesto que éstas responden a esta forma nitrogenada alterando su metabolismo e induciendo y activando con mayor intensidad a los genes que intervienen en los procesos de la asimilación del N (Crawford, 1995).

Cuadro 2. Elementos esenciales en la mayoría de las plantas, formas de absorción y concentraciones que se consideran adecuadas.

Elemento	Símbolo químico	Forma de absorción	Concentración en peso seco			N. Relativo de átomos respecto al Mo
			$\mu\text{mol g}^{-1}$	mg kg^{-1} (ppm)	%	
Molibdeno	Mo	MoO_4^-	0.001	0.1	-	1
Níquel	Ni	Ni_2^+	0.001	0.1	-	1
Cobre	Cu	$\text{Cu}^+, \text{Cu}_2^{+*}$	0.1	6	-	100
Zinc	Zn	Zn_2^+	0.3	20	-	300
Manganeso	Mn	Mn_2^+	1	50	-	1000
Hierro	Fe	$\text{Fe}_3^+, \text{Fe}_2^{+*}$	2	100	-	2000
Boro	B	H_3BO_3	2	20	-	2000
Cloro	Cl	Cl^-	3	100	-	3000
Azufre	S	SO_4^-	30	-	0.1	30000
Fosforo	P	$\text{H}_2\text{PO}_4^{+*}, \text{HPO}_4^-$	60	-	0.2	60000
Magnesio	Mg	Mg_2^+	80	-	0.2	80000
Calcio	Ca	Ca_2^+	125	-	0.5	125000
Potasio	K	K^+	250	-	1	250000
Nitrógeno	N	$\text{NO}_3^-*, \text{NH}_4^+$	1000	-	1.5	1000000
Oxígeno	O	$\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$	30000	-	45	30000000
Carbono	C	CO_2	40000	-	45	40000000
Hidrogeno	H	H_2O	60000	-	6	60000000

*Formas preferentes de absorción. Fuente Salisbury y Ross, 1992; Marschner, 1995; Epstein y Bloom, 2005.

Asimilación del Nitrógeno

La asimilación del N esta regulada por la luz y por los metabolitos nitrogenados y carbonados. Por otra parte la asimilación del nitrato (NO_3^+) es el proceso biológico mediante el cual el nitrógeno inorgánico es convertido en nitrógeno orgánico, al igual que la fijación de nitrógeno molecular (N_2). La asimilación del nitrato consta de tres etapas: a) absorción, b) reducción del nitrato a amonio y c) incorporación del amonio a esqueletos carbonados para la síntesis de aminoácidos, proceso que recibe el nombre específico de asimilación de amonio (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Sánchez *et al.*, 2006).

La absorción de NO_3^- aumenta cuando el abastecimiento externo es alto llegando al exceso de las necesidades de la planta y se acumula internamente, este es un problema que se presenta en muchos cultivos (López-Cantorero *et al.*, 1997). Miller y Smith (1996) indican que en la absorción, el NO_3^+ es transportado activamente al interior de la célula mediante un simporte con protones (con estequiometria de $2 \text{H}^+/\text{NO}_3^-$). El nitrato induce la síntesis de su propia proteína transportadora, H^+ -ATPasa. Además, el transporte se encuentra regulado negativamente por la presencia de NH_4^+ o de otras formas reducidas de N, como la glutamina: Por otra parte, una elevada concentración interna de NO_3^- ejerce un control negativo sobre su propia absorción (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Con respecto a la absorción de NH_4^+ los mecanismos de regulación, son distintos a los que operan en la absorción de NO_3^- . En este caso la absorción es más efectiva en un medio neutro y va disminuyendo a medida que se reduce el

pH (Miller y Cramer, 2004). Niveles elevados de carbohidratos de la planta favorece la absorción de NH_4^+ (Mengel y Kirby, 2001).

La reducción del NO_3^- a NH_4^+ tiene lugar mediante dos reacciones consecutivas catalizadas por las enzimas Nitrato Reductasa (NR; EC 1.6.6.1) y Nitrito Reductasa (NiR; EC 1.6.6.4); en la primera reacción el NO_3^- es reducido a NO_2^- , dicha reacción requiere dos electrones suministrados por una molécula de piridín-nucleótido. En la segunda reacción el NO_2^- es reducido a NH_4^+ , por medio de la NiR, esta requiere seis electrones donados por la ferredoxina reducida. El poder requerido se genera en las reacciones lumínicas de la fotosíntesis o en la glucólisis y respiración (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La NR se encuentra en el citoplasma, sea este radicular o limbo foliar, hecho que se ha comprobado a través del fraccionamiento celular y técnicas bioquímicas o inmunocito-químicas (Fedovora *et al.*, 1994). Mientras que la NiR se localiza en los cloroplastos de las hojas y en los plastidios en las raíces (Sechley *et al.*, 1992). Los factores que influyen en la regulación de las enzimas responsables de la asimilación del N son: Etapa fenológica de la planta (Ireland y Lea, 1999); relación luz/obscuridad (Migge *et al.*, 1996); concentración de sacarosa (Lam *et al.*, 1996; Sánchez *et al.*, 2005); fuente nitrogenada: NO_3^- y NH_4^+ (Ruiz y Romero, 1999); nivel de CO_2 (Edwards y Coruzzi, 1989); temperatura (Woodall *et al.*, 1996); elementos nutritivos (López-Lefebvre *et al.*, 2000; Ruiz y Romero, 2002); reguladores del crecimiento (Ruiz *et al.*, 2000); productos de la asimilación de N (Padgett y Leonard, 1996); y variabilidad genética (Ruiz y Romero, 1998).

El NH_4^+ generado en distintos procesos metabólicos (reducción del NO_3^- y fijación del N_2 , fotorrespiración y catabolismo de proteínas) es asimilado o reasimilado, por la actuación en tándem de las enzimas glutamina sintetasa (GS) y glutamato sintasa (GOGAT), que constituyen el denominado ciclo GS-GOGAT (Figura 2) para la síntesis de aminoácidos. En primer lugar, la GS cataliza la incorporación, dependiente de ATP, del NH_4^+ en una molécula de glutamato para formar glutamina. A continuación, la GOGAT cataliza la transferencia reductiva del grupo amido de la glutamina al C-2 del 2-oxoglutarato, produciéndose dos moléculas de glutamato (Figura 3). De las dos moléculas de glutamato formadas, una de ellas es reciclada, y la segunda transfiere su grupo amino a diversos oxoácidos, en reacciones catalizadas por amino transferasas, para la síntesis de los restantes aminoácidos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

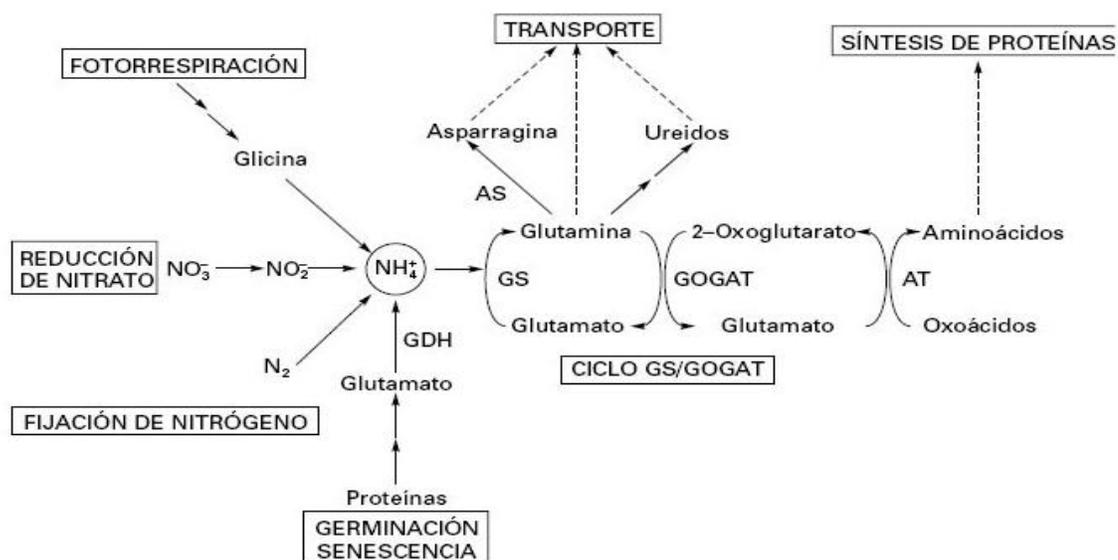


Figura 2. Procesos metabólicos que generan amonio en los tejidos vegetales, y su asimilación y transporte. As= asparagina sintetasa; AT= aminotransferasa; GDH= glutamato deshidrogenasa; GOGAT= glutamato sintasa; GS= glutamina sintetasa.

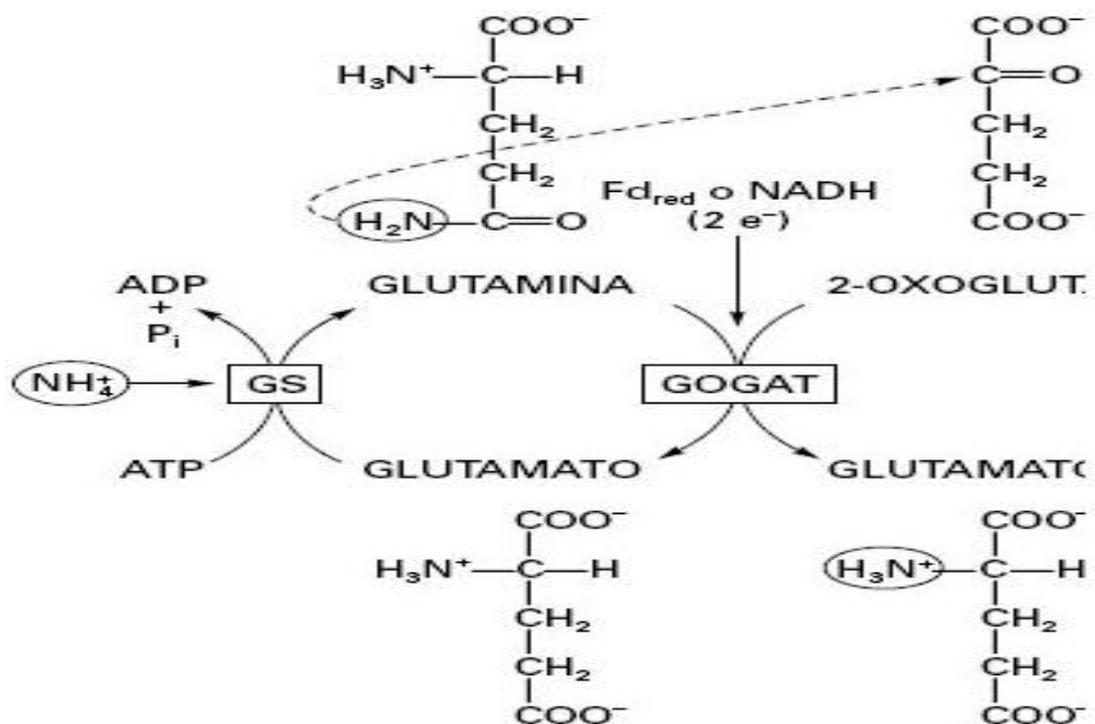


Figura 3. Asimilación del amonio por el ciclo GS-GOGAT. GS= glutamina sintetasa; GOGAT= glutamato sintasa.

Indicadores Bioquímicos del Estado Nutricional de la Planta

Para conocer el nivel nutricional se utilizan los métodos bioquímicos que se basan en el empleo de enzimas específicas de iones. Estos métodos se fundamentan en diferente actividad de ciertas enzimas dependiendo del nivel nutricional. O bien la actividad enzimática real se determina en el tejido u órgano tras su extracción, o bien se incuba dicha enzima con el nutriente en cuestión para determinar las actividades enzimáticas inducibles. La actividad de la NR *in vivo* es la mejor estimación de las tasas de asimilación de NO_3^- (Shaked y Bar-Akibva, 1967) y proporciona una razonable estimación de la cantidad de reserva metabólica de NO_3^- , se ha sugerido además como una herramienta en los sistemas de monitoreo que determinan los cambios en la concentración de N en las hojas, cuando se añaden NO_3^- al medio de ensayo

(NR), se determina la máxima capacidad de asimilación de NO_3^- bajo condiciones no limitantes (Bar-Akiva *et al.*, 1970); así a mismo, se puede evaluar la necesidad del cofactor Mo (Islam *et al.*, 2001), el cual puede estar limitando la actividad de la enzima. La NR se localiza en el citosol, aunque en algunas especies se ha descrito que parte de la enzima también se puede encontrar débilmente unida a plasmalema o a la membrana externa del cloroplasto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño Experimental

Dos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo saladette (Cuauhtémoc y El Cid) dos genotipos de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) (Centella y Euforia) se sembraron en charolas de poliestireno con celdas (3 x 3 x 10 cm) rellenas de peat moss y se mantuvieron en bancos bajo condiciones de invernadero por un periodo de ocho semanas; las plántulas se trasplantaron y desarrollaron en cinco fuentes de fertilización: F1: arena + fertilizantes inorgánicos, F2: arena + té de vermicompost al 10 % concentración, F3: mezcla de arena: compost, 1:1 v/v, + té de vermicompost al 2.5 % de concentración, F4: mezcla de arena: vermicompost, 1:1 v/v, + té de vermicompost al 2.5 % de concentración, F5: mezcla de arena: compost: vermicompost, 2:1:1 v/v, + té de vermicompost al 2.5 % de concentración, bajo condiciones controladas en un invernadero experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México. Las plántulas se trasplantaron el 9 de abril de 2011 (tomate y chile jalapeño; ciclo primavera-verano) y 7 de noviembre de 2011 (tomate; ciclo otoño-invierno) en macetas de polietileno de 50 cm de altura (60 cm de diámetro superior y 50 cm de diámetro inferior) y el ciclo de cultivo finalizó a finales de abril de 2012. En esta zona el clima es árido y la tierra es usada para la agricultura intensiva. Las características de los sustratos y del té

de vermicompost se muestran en la Cuadro 3. Dentro del invernadero, la humedad relativa fue de 60 a 80 % y la temperatura media oscilo entre 20 y 28 °C, con temperaturas extremas de 15 y 34 °C. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (2 x 5) con diez tratamientos, correspondientes a los dos genotipos de tomate o de chile y a las cinco fuentes de fertilización. Cada tratamiento tuvo 12 repeticiones. El agua de riego presento las siguientes características: CE, 1.05 dS m⁻¹; pH, 7.8; Ca²⁺, 3.51; Mg²⁺, 0.48; K⁺, 0.22; Na⁺, 2.71 mmol L⁻¹; HCO₃⁻, 3.12; Cl⁻, 2.3; SO₄²⁻, 2.62 mmol L⁻¹. La dosis de aplicación de cada elemento nutritivo en F2 fue gradual en el agua de riego durante todo el experimento, se muestra en la cuadro 3. El vermicompost (VC) se adquirió en el módulo de lombricultura de la UAAAN-UL y consistió en estiércol de caballo y cabra (1:1) con alfalfa (*Medicago sativa* L.), procesada con la lombriz roja californiana (*Eisenia* spp.) en camas (Atiyeh et al., 2000) por un periodo de 90 días (Bansal and Kapoor, 2000). El compost (C) fue comercial (MaxCompost[®]). Para preparar el té de vermicompost (TVC) al 10 % de concentración, se aplicó la metodología recomendada por Edwards et al. (2010), con una variación que consistió en sumergir la bolsa tipo red que contenía 4.5 kg de VC en un recipiente con 20 litros de agua por 5 min para lavar el exceso de sales, antes de ser sometido a la fermentación aerobia. Posteriormente, en un contenedor de 60 litros de capacidad, se oxigenaron 45 litros de agua con una bomba de aire (Biopro: BP9891. Tiray[®] Technology Co Ltd) por 2 horas. Se introdujo la malla tipo red con los 4.5 kg de VC en los 45 L de agua oxigenada y se dejó fermentar por 24 horas. A este proceso se le agregó 40 g de piloncillo o panela, producto derivado del jugo de la caña

(*Saccharum officinarum* L.) no refinado (Solis-Pacheco *et al.*, 2006), como fuente de energía para promover el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. La aplicación del TVC fue constante durante todo el ciclo de cultivo, y se mantuvo aireado las 24 horas del día. Por otra parte, a las plantas desarrolladas bajo F2, se les aplicó 0.5 litros del TVC al 10 % de concentración, mientras que para las plantas desarrolladas bajo F3, F4 y F5 el TVC se diluyó a una proporción de 1:3 utilizando 1 L de TVC por cada 3 L de agua potable para tener una concentración al 2.5 %. De esta dilución se aplicó 1 L por maceta. El pH del TVC fue ajustado a un valor de 5.5 con ácido cítrico grado alimenticio ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) aplicado a una concentración 5 mM (1.2 g L^{-1}) (Capulín-Grande *et al.*, 2007).

Cuadro 3. Análisis químico del compost, vermicompost y té de vermicompost.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(%)						(mg kg ⁻¹)				(dS cm ⁻¹)
C	2.41	1.19	3.36	8.76	0.94	0.57	5920	260	160	8.5	6.7
VC	1.27	0.15	0.88	6.92	0.6	0.1	7090	330	210	7.9	2.4
VCT	0.83	0.49	0.71	3.23	0.75	0.2	2.4	0.5	1.58	8.0	2.0

C = compost; VC = vermicompost; TVC = té de vermicompost; EC = conductividad eléctrica.

Cosecha

Para los tomates del ciclo P-V se realizaron 17 cortes y para los tomates del ciclo O-I se realizaron ocho cortes, en 12 plantas de cada tratamiento para determinar el número de frutos por planta. Por otra parte en los chiles se realizó cinco cortes. El rendimiento total se determinó con el peso del número total de frutos por planta, utilizando una báscula Ohaus modelo 3729 con capacidad

máxima de 3,000 gramos y resolución de 0.1 gramos. Los resultados se expresan en Mg ha⁻¹ y número de frutos ha⁻¹.

Cuadro 4. Solución nutritiva dinámica empleada para el cultivo de tomate (Castellanos y Ojo de Agua, 2009).

Ion	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
	1 ^{er} Cuaje	1 ^{er} – 3 ^{er} Cuaje	3 ^{er} – 5 ^{to} Cuaje
	mmol L ⁻¹		
NO ₃ ⁻	6	8	10
NH ₄ ⁺	0-0.5	0-0.5	0.05
H ₂ PO ₄ ⁻	1.5	1.5	1.5
K ⁺	3.5	5.5	7
Ca ²⁺	4	4	4
Mg ²⁺	1	1.5	2
SO ₄ ²⁻	1.5 a 3	1.5 a 3	1.5 a 3
HCO ₃ ⁻	1	1	1
Na ⁺	<5	<5	<5
Cl ⁻	1 a 3	1 a 3	3 a 5
CE	1.4	1.8	2.2

CE = conductividad eléctrica.

Propiedades Químicas del Fruto

El contenido de minerales en los frutos de tomate del ciclo P-V se determinó como sigue: El nitrógeno (N) fue determinado con el método de Kjeldahl (AOAC, 1980). La determinación de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn) se realizó por el método de la mezcla tri-ácida y por el método de espectrofotometría de absorción atómica (Jones *et al.*, 1991; A.O.A.C., 1980), mientras que la determinación de Fósforo (P) se determinó con el método de metavanadato molibdato de amonio y colorimetría (Alcántar y Sandoval, 1999). Por otra parte la determinación del contenido de nitratos en fruto se llevó a cabo por la metodología propuesta por Keeney y Nelson (1982).

Muestreo del Material Vegetal

El muestreo foliar para los tomates cultivados en el ciclo O-I se estandarizó usando solo plantas con hojas completamente expandidas y con el mismo tamaño, las cuales fueron tomadas del primer tercio de la planta, 77 días después del trasplante y 4 semanas después (105 días después del trasplante), de cada maceta. Las hojas se lavaron dos veces con agua potable y se enjuagaron con agua desionizada. Una parte del material foliar muestreado (0.30 g) fue utilizado en fresco para el análisis de la actividad enzimática NR y la determinación de pigmentos foliares. El material restante se secó a temperatura ambiente en la sombra y posteriormente en la estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 horas, las muestras se molieron en un molino Willey con cámara de acero inoxidable malla número 20 y se prepararon para la determinación del N orgánico.

Análisis Vegetal

Determinación de los Pigmentos Foliare e Índice Vegetativo, Índice de Fe e Índice Alcalino

Para determinar los pigmentos foliares, usamos la metodología descrita por Wellburn (1994). El contenido de clorofila (a+b) se expresó como μg clorofila cm^{-2} usando la ecuación de Wellburn (1994). El índice vegetativo, índice de Fe e índice alcalino se determinó con la metodología propuesta por Moreno *et al.* (1999b).

Ensayo y Determinación de la Actividad Enzimática NR *in vivo*

La actividad enzimática NR *in vivo* se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Jaworski (1971). Se cortaron hojas en pequeñas secciones de 5 mm (100 mg) y se introdujeron en 10 cm³ de un medio de infiltración, que vario de acuerdo a la actividad NR que se determino: a) En el caso de la actividad NR endógena, se pusieron 10 mL del buffer de fosfato potásico 100 mM, pH 7.5 + 1 % de propanol; b) actividad NR inducida con NO₃⁻, se pusieron 10 mL Buffer de fosfato potásico 100 mL, pH 7.5 que contenía nitrato potásico 50 mM + 1 % de propanol; c) actividad NR inducida con molibdato, se aplicaron 10 mL del buffer de fosfato potásico 100 mM, pH 7.5 que contenía molibdato sódico dihidrato 50 mM + 1 % de propanol, y d) actividad NR inducida con molibdato y NO₃⁻, se pusieron 10 mL de buffer de fosfato potásico 100 mM, pH 7.5 que contenía nitrato potásico 50 mM y molibdato sódico dihidrato + 1 % de propanol. Las muestras fueron sometidas a un proceso de vacío (0.08 MPa) durante 10 minutos. Posteriormente, las muestras se incubaron a 30 °C en la oscuridad durante una hora, y al termino de este periodo se introdujeron en baño de agua caliente a 100 °C durante 15 minutos para detener la actividad NR. Para la determinación de la actividad NR *in vivo* se tomó: 1 mL de la muestra, 2 mL de sulfanilamida al 1 % disuelta en HCl 1.5 normal y 2 mL de NNEDA al 0.02 % disuelta en HCl 0.2 normal. La concentración de nitritos se determinó en el espectrofotómetro JENWAY UV/Vis, a una longitud de onda de 540 nm y se expresó en μmol de NO₂⁻ formados por g⁻¹ p. f. h⁻¹ (micromoles de nitritos formados por gramo de peso fresco en una hora).

Determinación de la Concentración de Elementos Minerales

El contenido de N orgánico, se determinó por el método Kjeldahl (Wolf, 1982), el cual consiste en un proceso de digestión y destilación. Por otra parte, la determinación de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe) se realizó por el método de la mezcla tri-ácida y por el método de espectrofotometría de absorción atómica (Jones *et al.*, 1991; AOAC, 1980), mientras que la determinación de fósforo (P) se realizó con el método de metavanadato molibdato de amonio y colorimetría (Alcántar y Sandoval, 1999).

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron sujetos a un análisis de varianza y en su caso a la prueba de comparación de medias DMS con un nivel de confiabilidad de 95 % ($\alpha = 0.05$), mediante el uso del paquete estadístico SAS 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo Primavera-Verano

Tomates

El contenido mineral del C y VC se muestra en el cuadro 3. En el presente trabajo experimental el contenido de macronutrientes fue mayor en C, sin embargo en VC el contenido de micronutrientes fue al menos 1.1 veces mayor que lo obtenido por el C.

Número de Frutos por Planta

Los efectos del uso de sustratos en el número de frutos por planta se muestran en el cuadro 5. Se observó que las plantas desarrolladas bajo los sustratos F2, F3, F4 y F5 mostraron un decremento significativo ($P < 0.05$) en frutos por planta, con disminuciones del 16.07, 16.07, 12.50 y 8.92 %, respectivamente. A menudo se observa una reducción de 11.11 a 76.36 % en el número de frutos cuando se utilizan mezclas de arena con sustratos orgánicos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2012). Resultados similares han sido reportados por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) quienes obtuvieron un decremento de 22.91 y 31.25 % en el número de frutos de dos híbridos de tomate bola al usar mezclas de arena: VC.

Peso Promedio y Tamaño de Fruto

El uso de TVC incremento en 11.06 % el peso promedio de fruto de las plantas desarrolladas bajo F2 en comparación con el testigo. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez-Dimas *et al.* (2007), quienes reportaron un incremento de 15.37 % en el peso de fruto de tomate desarrollado bajo arena + TVC en

comparación con el testigo desarrollado en arena + fertilizantes inorgánicos. Por otra parte, el peso de fruto promedio obtenido en plantas desarrolladas bajo F3, F4 y F5 se decrementó en 15.20, 5.71 y 7.20 % con respecto al peso obtenido en el testigo. Con frecuencia se observa en tomate una reducción de 19.15 y 35.71% en el peso de frutos cuando se usan mezclas (1:1) de arena: VC y arena: C respectivamente (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2008; Márquez-Hernández *et al.*, 2006).

Lo encontrado en este estudio resulta interesante, considerando que el peso y tamaño de fruto se afectó debido al uso de TVC (Cuadro 5). El hecho de no haberse reducido el tamaño y peso de los frutos en las plantas desarrolladas bajo F2, representa un importante valor agregado en el producto cosechado. Este resultado se podría explicar con experiencias de otros autores como lo reportado por Arancon *et al.* (2004b), ellos encontraron que con la aplicación de vermicompost a un campo de fresa aumentó significativamente el contenido de citocininas, las cuales junto con las auxinas presentes en semillas inmaduras de frutos jóvenes, influyen en la regulación de la división y alargamiento celular, y por lo tanto inductores del crecimiento y peso del fruto, como lo mencionan Raven *et al.* (1992). En relación a lo anterior, Coletto (1995) menciona que después de la división celular inicia la acumulación de los fotoasimilados y con ello el crecimiento y peso de fruto. Por lo tanto, es probable que la fertilización orgánica al reducir la demanda de asimilados y otras hormonas en tejidos de crecimiento apical, favoreciera el contenido de citocininas y la acumulación de fotoasimilados en fruto, evitando con esto reducción de peso y tamaño en ellos a pesar de un mayor número por planta como resultado de la aplicación del TVC. Por otra parte, de acuerdo al pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "México Calidad Suprema" en tomate (SAGARPA-ASERCA,

2011), el tamaño de fruto mediano corresponde a un diámetro entre 4.9 y 5.9 cm, por lo que las plantas desarrolladas bajo los sustratos F1, F2, F4 y F5 obtuvieron frutos que caen en esta categoría.

Índice refractométrico

El contenido de sólidos solubles, de los frutos cosechados en plantas desarrolladas bajo F3, se incrementó en 12.61 % con respecto a los frutos cosechados en el testigo. Por otra parte, el menor contenido de sólidos solubles se registro en los frutos cosechados en el F2, con un decremento de 0.95 % en comparación con el testigo. En consecuencia, se confirma que el uso de TVC y sustratos orgánicos generaron frutos de mejor calidad en cuanto a contenido de sólidos solubles, ya que el tomate para consumo en fresco debe de contener más de 4.0 °Bx (Santiago *et al.*, 1998). Sin embargo, Diez (2001) mencionó que el tomate, para procesado o consumo en fresco, debe de contar con un contenido de sólidos solubles de al menos 4.5 °Bx. De acuerdo a lo anterior, todos los sustratos produjeron tomates con más de 4 °Bx, por lo cual son adecuados para consumo en fresco, mientras que para la industria, solo el sustrato F3 alcanzó los 4.5 °Bx requeridos.

Rendimiento

Las plantas del testigo presentaron mayor producción, superando en un 11.07, 28.92, 20.46 y 16.36 % a las plantas de desarrolladas bajo F2, F3, f4 y F5 respectivamente (Cuadro 5). Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos no está permitido en la normativa para la producción orgánica, además de incrementar los costos de producción, por lo que los resultados observados en el presente estudio

se sugieren como adecuados para probarse en trabajos posteriores. El mayor rendimiento del testigo, con respecto a los sustratos evaluados fue referido por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) y Márquez-Hernández *et al.* (2008), quienes encontraron mayor rendimiento en los sistemas de producción inorgánica. Al respecto, Stanhill (1990) menciona que en la agricultura orgánica el rendimiento se reduce entre 10 y 30 % respecto a la agricultura convencional. No obstante la disminución en el rendimiento observada en el presente trabajo puede ser compensada por el sobreprecio que tiene el tomate orgánico, que es de 5.84 veces el precio del tomate obtenido con el manejo convencional (SIAP, 2005).

El híbrido El Cid presentó 1:0031 veces mayor rendimiento en comparación con el cv. Cuauhtémoc. Por otra parte la mejor combinación se logró con F1 y el cv. Cuauhtémoc, con 208.45 Mg ha⁻¹, y la peor con F3 y el cv. El Cid, con rendimiento de 130.96 Mg ha⁻¹. Los resultados obtenidos concordaron con lo establecido por Atiyeh *et al.* (2000a, 2000b), quienes recalcaron que los sustratos orgánicos beneficiaron el desarrollo de los cultivos en invernadero, y que las diferencias detectadas en las variables evaluadas se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos y el incremento de sus comunidades microbianas (Arancon *et al.*, 2004b).

Cuadro 5. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de tomate saladette, desarrollados con abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero.

T		PF (g)	DP	DE (cm)	EP	NF	IR (°Bx)	R (Mg ha ⁻¹)
Genotipos (G)								
	Cuauhtémoc	81.74 b	6.09 a	4.91 b	0.73 b	49 b	4.40 a	166.78 b
	El Cid	88.52 a	6.03 b	5.11 a	0.76 a	51 a	4.37 b	167.31 a
Sustrato (F)								
	F1	88.60 b	6.06 c	5.13 a	0.76 a	56 a	4.20 d	197.37 a
	F2	96.18 a	6.13 b	5.13 a	0.74 c	47 d	4.16 e	175.52 b
	F3	75.13 e	5.96 d	4.82 d	0.75 b	47 d	4.73 a	140.29 e
	F4	83.54 c	6.24 a	5.04 b	0.75 b	49 c	4.46 b	156.98 d
	F5	82.22 d	5.92 e	4.94 c	0.74 c	51 b	4.38 c	165.08 c
G x f								
T1	Cuauhtémoc x F1	80.28 g	5.97 f	5.01 e	0.74 d	62 a	4.23 g	208.45 a
T2	Cuauhtémoc x F2	93.75 c	6.20 b	5.05 d	0.74 d	46 h	4.14 j	166.32 f
T3	Cuauhtémoc x F3	75.08 j	5.97 f	4.74 i	0.73 e	50 e	4.72 b	149.61 h
T4	Cuauhtémoc x F4	79.16 h	6.38 a	4.86 h	0.72 f	45 i	4.54 c	142.29 i
T5	Cuauhtémoc x F5	80.43 f	5.92 h	4.89 g	0.73 e	52 c	4.35 f	167.22 e
T6	El Cid x F1	96.92 b	6.15 c	5.25 a	0.77 b	49 f	4.16 i	186.29 b
T7	El Cid x F2	98.60 a	6.05 e	5.21 c	0.73 e	48 g	4.18 h	184.71 c
T8	El Cid x F3	75.18 i	5.95 g	4.89 g	0.76 c	44 j	4.74 a	130.96 j
T9	El Cid x F4	87.92 d	6.10 d	5.22 b	0.78 a	53 b	4.38 e	171.66 d
T10	El Cid x F5	84.00 e	5.91 i	4.98 f	0.74 d	50 d	4.41 d	162.93 g
Media general		85.13	6.06	5.01	0.74	50	5.39	167.05
CV (%)		9	5	6	13	17	12	18

T = tratamiento; Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. F1 = arena + fertilizantes inorgánicos; F2 = arena + té de vermicompost; F3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost; F4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost; F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost. PF = peso de fruto; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; IR = índice refractométrico; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

Contenido nutricional

Se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el contenido mineral de los frutos desarrollados bajo los distintos sustratos (Cuadro 6). El contenido mineral en frutos desarrollados bajo F2 se incrementó para Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (F1). Mientras que los frutos de las plantas desarrolladas bajo F3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo. El flujo de minerales en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma (Gutiérrez, 1997). Es posible que al usar sustratos orgánicos se modifique el patrón de traslocación de minerales y estos sean enviados en mayor proporción hacia los frutos en desarrollo y su distribución no sea más equitativa entre ellos; reflejándose esto en lo observado de afectarse adversamente el contenido y los niveles de los mismos (Rademacher, 2004). La deficiencia de minerales, se refleja principalmente en frutos, se induce desordenes fisiológicos que se traducen en bajas en el rendimiento, tamaño, peso, color, forma, sabor y calidad nutritiva en fruto (Mancera *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008), lo que demuestra la gran importancia de no afectar los niveles en el contenido mineral; a pesar de que son diversos los factores que pudieran influenciar en la absorción, movilidad y asimilación de los elementos minerales en la planta (Shaviv y Mikkelsen, 1993).

Cuadro 6. Contenido nutricional de tomate orgánico y convencional.

T		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	N-NO ₃ ⁻
Genotipo (G)											
	Cuauhtémoc	17,0 a	4,44 a	42,52 a	3,84 a	1,90 a	1,00 b	54,8 a	19,2 a	10,8 b	4,2 a
	El Cid	16,7 b	3,92 b	41,42 b	1,94 b	1,72 b	1,10 a	50,8 b	16,8 b	11,6 a	4,1 a
Sustrato (F)											
	F1	16,73 c	4,13 c	45,67 a	2,23 d	1,96 a	1,23 b	53,0 c	15,3 e	13 c	5,0 b
	F2	16,70 d	4,13 c	43,23 b	4,66 b	1,50 d	1,26 a	56,6 b	18,3 b	14 b	6,1 a
	F3	16,73 c	4,80 a	43,00 c	4,86 a	1,66 c	1,06 c	45,3 d	20,3 a	16 a	3,6 c
	F4	16,90 b	3,66 d	38,73 d	2,36 c	1,96 a	1,23 b	60,0 a	16,6 c	6 e	3,1 c
	F5	17,03 a	4,30 b	38,33 e	1,70 d	1,83 b	0,73 d	41,6 e	16,3 d	8 d	3,1 c
G x F											
T1	Cuauhtémoc x F1	16,8 c	4,2 g	52,2 a	2,1c	2,0 b	1,2 c	54,0 d	17,0 e	16 b	4,9 d
T2	Cuauhtémoc x F2	17,1 a	5,2 a	37,9 k	11,0 a	1,9 c	1,0 d	50,0 f	23,0 a	12 e	5,6 b
T3	Cuauhtémoc x F3	17,1 a	4,8 c	41,3 h	2,0 e	1,8 d	0,8 e	52,0 e	21,0 b	15 c	3,3 g
T4	Cuauhtémoc x F4	17,1 a	3,7 i	38,8 i	2,2 c	2,0 b	1,2 c	81,0 a	17,0 e	7 g	3,6 f
T5	Cuauhtémoc x F5	17,1 a	4,3 f	42,4 f	1,9 f	1,8 d	0,8 e	37,0 j	18,0 d	4 j	3,3 g
T6	El Cid x F1	16,5 f	4,3 f	42,2 g	2,8 b	1,7 e	1,2 c	50,0 f	15,0 g	13 d	6,6 a
T7	El Cid x F2	16,5 f	3,6 j	45,9 b	1,5 j	1,3 f	1,4 a	60,0 b	16,0 f	15 c	5,1 c
T8	El Cid x F3	1,66 e	4,6 d	44,3 c	1,6 i	1,9 c	1,0 d	50,0 f	19,0 c	12 e	3,9 e
T9	El Cid x F4	16,7 d	2,9 k	38,7 j	2,1 d	1,7 e	1,2 c	49,0 g	16,0 f	5 i	2,6 i
T10	El Cid x F5	16,9 b	4,2 g	36,0 l	1,7 h	2,0 b	0,7 f	45,0 h	18,0 d	13 d	3,0 h
Media general		16,8	4,2	41,8	3,2	1,8	1,1	51,33	17,4	11,4	4,19
CV (%)		5	5	7	7	7	5	5	5	5	8

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales con la prueba DMS $P \leq 0,05$; ND = no detectado; F1 = arena + fertilizantes inorgánicos; F2 = arena + té de vermicompost; F3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost; F4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost; F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost.

Chile Jalapeño

La dinámica de crecimiento de las plantas de chile jalapeño, cv. Centella y Euforia, en las diferentes fertilizaciones evaluadas se muestran en las ecuaciones de regresión lineal que se incluyen en el cuadro 7. El ajuste lineal para todos los tratamientos resultó significativo ($P \leq 0,05$) con r^2 que fluctuaron entre 87 y 99 %. Los tratamientos que promovieron la mayor altura de planta, al concluir el ciclo del cultivo a los 144 ddt, fueron el F1, así como el F4 y F5, para ambos genotipos. En el presente trabajo, la altura final promedio para los tratamientos F1, F2, F3, F4 y F5 del cv. Centella fue de 112.01, 57.69, 78.39, 133.81 y 158.89 cm, respectivamente, mientras que la altura final promedio para los tratamientos F1, F2, F3, F4 y F5 del cv Euforia fue de 120.48, 72.85, 73.25, 135.26 y 169.03 cm, respectivamente. Este comportamiento se puede atribuir a la carga genética de los genotipos y su interacción con el medio donde se desarrolló el cultivo, es decir la fertilización que incluyó todos los componentes: mezcla de arena (MA): C: VC (relación 2:1:1 v:v) + TVC al 2.5 % de concentración. Además se destaca que el tratamiento de fertilización F4 (MA:VC + TVC al 2.5 % de concentración) registró el segundo valor más alto para ambos cultivares. Estos valores en parte se deben a la presencia del VC y del TVC, con lo cual se fortalece el hecho de que estos materiales, donde se contempla el empleo de las lombrices de tierra para la elaboración de estos productos, son de mayor calidad que los abonos orgánicos generados por los métodos tradicionales de composteo (16, 21, 26).

Adicionalmente, al determinar que los tratamientos de fertilización F4 y F5, que incluyeron la aplicación del VC y del TVC, superaron al tratamiento testigo, con A + solución nutritiva, se ha coincidido con lo reportado por Rodríguez-Ortiz *et al.* (25) quienes concluyeron que la fertilización con VC, a razón de 1.5 y 3.0 Mg ha⁻¹, incorporado al momento del trasplante de la cebollita cambray (*Allium cepa* L.) favoreció una mayor altura de esta especie al compararse con las plantas que recibieron la fertilización sintética.

Por otra lado, la fuente de variación de los tratamientos fertilización x genotipo fue significativa ($P \leq 0.05$), para la longitud de fruto, número de lóculos y espesor de pericarpio (Cuadro 8). El mayor peso en el cultivar Centella y Euforia se obtuvo en los tratamientos F5 y F1, respectivamente, mientras que el menor peso se registro en el tratamiento F2. Pero de acuerdo con los estándares de la marca oficial “México Calidad Suprema” para chiles, solo los tratamientos F3, F4 y F5 tuvieron longitudes mayores de 8,3 cm (27).

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión para las fuentes de fertilización en relación con la altura de planta en chile jalapeño orgánico.

Fertilización [†]	Altura cv. Centella Ecuación de Regresión [‡]	r ²	Altura cv. Euforia Ecuación de Regresión	r ²
F1	$y = 0.79365x - 2.27024$	0.96	$y = 0.87483x - 5.49107$	0.96
F2	$y = 0.46365x - 9.06708$	0.87	$y = 0.57390x - 9.7909$	0.93
F3	$y = 0.57569x - 4.50199$	0.92	$y = 0.53007x - 3.07023$	0.96
F4	$y = 0.93595x - 0.96158$	0.93	$y = 0.96181x - 3.23637$	0.92
F5	$y = 1.17946x - 10.94975$	0.99	$y = 1.26177x - 12.65852$	0.98

[†]F1 = A + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = A + TVC al 10 % de concentración; F3 = MA:C (1:1 v:v) + TVC 2.5 % de concentración; F4 = MA:VC (1:1 v:v) + TVC 2.5 % de concentración; F5 = MA:C:VC (2:1:1 v:v) + TVC 2.5 % de concentración; [‡]y= altura.; x = días después del trasplante.

Las diferencias observadas en el rendimiento en la interacción fertilización x genotipo se debieron al número de frutos por planta y no al peso promedio del fruto. El rendimiento promedio fue de $44.8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, es decir, se incrementó en un 244.6 % con respecto a lo obtenido por los productores mexicanos, bajo condiciones de riego y temporal, que de $13.0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (29). El tratamiento F5, tuvo un 22.7 % más de rendimiento que el del tratamiento testigo que tuvo un rendimiento de $60.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. En el tratamiento F2, los genotipos Centella y Euforia registraron un decremento en el rendimiento de 56.3 y 20.71 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento testigo. Por lo tanto, el TVC en arena no sustituyó el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, con la adición de C + CV a la arena y el uso de TVC al 2.5 % de concentración el genotipo Centella y Euforia presentó un incremento en el rendimiento de 32.9 y 16.4 %, respectivamente, comparado con el tratamiento testigo del mismo cultivar. El resultado señala que este tratamiento orgánico representa una opción viable para ser utilizado como fuente de nutrientes para chile jalapeño en condiciones protegidas cuando se busca disminuir ó sustituir el uso de fertilizantes convencionales. Al respecto, existen actualmente numerosos reportes que señalan la necesidad de disminuir el uso de los fertilizantes químicos, principalmente por los efectos contaminantes de éstos últimos (13, 34). Los resultados obtenidos contrastan con los obtenidos por Subler *et al.* (33), quienes mencionan que el mejor desarrollo del cultivo se da con pequeñas proporciones de VC, entre 10 y 20 %. Aunado a lo anterior, Atiyeh *et al.* (3, 4) señalan que al usar más de 20 % de compost en el sustrato, hay un decremento en el rendimiento de la planta. Estas diferencias se pueden deber a

la densidad de microorganismos, la tasa de mineralización y a las características de cada uno de los sustratos (20).

De acuerdo con datos de Inzunza-Ibarra *et al.* (15), una cosecha de chile jalapeño extrae 2.8 kg de N por tonelada de fruto en fresco. En el presente estudio se supuso una extracción similar, de modo que el cv. Centella y Euforia extrajeron el equivalente a 45.64, 62.72, 137.76, 138.88 y 136.08, 101.64, 155.96, 199.92 kg de N, respectivamente para los tratamientos F2, F3, F4 y F5 de cada cultivar. Es importante señalar que de acuerdo a la cantidad de nitrógeno en las fuentes de fertilización orgánicas (Cuadro 3) y al transformarlo a nitrógeno por hectárea con una tasa de mineralización del 11 %, estas fuentes de fertilización contienen el nitrógeno necesario para producir dicho rendimiento. No obstante, probablemente factores como la lixiviación (8), la volatilización, la adsorción, etc., pudieron influir para no obtener mayor rendimiento, sobre todo, cuando se adicionó 50 % de C y VC al sustrato. Es importante señalar, que el rendimiento obtenido pone de manifiesto, las altas cantidades de elementos nutritivos contenidos en el C, VC y té de VC, como lo menciona Edwards *et al.* (12). No obstante, las diferencias entre el C y VC, se deben a las características de cada uno.

Cuadro 8. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de chile jalapeño, desarrollados bajo condiciones de invernadero.

T		PF (g)	L	DE (cm)	EP	NF	NL	R (Mg·ha ⁻¹)
Genotipos (G)								
	Centella	40.8 a [†]	8.3 a	3.5 a	0.56 b	24 b	2 a	35.0 b
	Euforia	39.9 a	8.3 a	3.4 a	0.59 a	36 a	3 a	54.6 a
Fertilización (F)								
	F1	41.6 a	8.0 b	3.4 a	0.57 b	32 b	3 a	49.3 b
	F2	35.8 b	7.9 b	3.4 a	0.56 b	24 c	3 a	32.4 c
	F3	40.1 a	8.5 a	3.4 a	0.56 b	19 c	3 a	29.3 c
	F4	41.9 a	8.5 a	3.6 a	0.60 a	33 b	2 b	52.4 ab
	F5	42.3 a	8.6 a	3.6 a	0.60 a	41 a	2 b	60.5 a
G x F								
T1	Centella x F1	40.2 abc	7.9 de	3.5 ab	0.570 cd	24 cd	3 a	37.3 c
T2	Centella x F2	37.1 cd	8.1 dc	3.3 b	0.500 e	13 e	2 ab	16.3 e
T3	Centella x F3	42.2 ab	8.3 bc	3.5 ab	0.579 bcd	15 de	3 a	22.4 de
T4	Centella x F4	41.5 ab	8.4 bc	3.6 a	0.597 abc	33 bc	2 ab	49.2 bc
T5	Centella x F5	43.2 a	8.8 a	3.7 a	0.570 cd	35 bc	2 ab	49.6 bc
T6	Euforia x F1	43.0 a	8.2 cd	3.3 b	0.583 abcd	40 ab	3 a	61.3 ab
T7	Euforia x F2	34.5 d	7.6 e	3.5 ab	0.616 ab	36 b	2 ab	48.6 bc
T8	Euforia x F3	38.1 bc	8.7 ab	3.3 b	0.546 d	25 c	3 a	36.3 cd
T9	Euforia x F4	42.4 a	8.7 ab	3.5 ab	0.601 abc	34 bc	3 a	55.7 b
T10	Euforia x F5	41.5 ab	8.4 bc	3.5 ab	0.621 a	47 a	2 ab	71.4 a
Media general		40.3	83	3.4	0.57	31	2.5	44.8
CV (%)		10	4	8	6	33	12	23

[†]Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales con la prueba DMS $P \leq 0,05$. F1 = arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = arena + té de VC al 10 % de concentración; F3 = mezcla de arena + C (1:1 v:v) + té de VC 2.5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + VC (1:1 v:v) + té de VC 2.5 % de concentración; F5 = mezcla de arena + C + VC (2:1:1 v:v) + té de VC 2.5 % de concentración. T = tratamiento; PF = Peso de fruto; L = Longitud; DE = Diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; NL = número de lóculos; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

Ciclo Otoño-Invierno

Rendimiento. Los fertilizantes orgánicos y su uso son factores determinantes para el rendimiento (López-Cantarero *et al.*, 1997). En nuestro estudio, se encontró un efecto significativo en el factor fertilización (Cuadro 9, $P \geq 0.05$), mientras que para el factor cultivar no se encontró significancia. El rendimiento total más alto se presentó en F1 (arena + fertilizantes inorgánicos). Por otra parte, el mayor rendimiento orgánico se obtuvo en F2 con una

reducción del 16.45 % con respecto al testigo. El menor rendimiento se obtuvo bajo F5 (mezcla de arena: C: VC + TVC), con un decremento del 48.76 % con respecto al testigo. F1 produjo el mayor número total de frutos, mientras que F5 obtuvo 35.26 % menos frutos en comparación con el testigo. Al respecto Arancon *et al.* (2007) reportaron que los ácidos orgánicos, húmicos y fúlvicos extraídos o producidos por los microorganismos en el TVC inducen el desarrollo vegetativo de las plantas e incrementan el rendimiento, lo anterior se puede explicar con los resultados obtenidos por Garcia-Martinez *et al.* (2002), quienes concluyeron que el té de C contenía un componente con estructura molecular y actividad biológica parecida a las auxinas. Por otra parte, se ha demostrado que el lixiviado de C contiene citocininas, derivadas de la hidrólisis de glucósidos cianogénicos por la enzima β -glucosidasa producida por los microorganismos (Arthur *et al.*, 2001). Aunque las fitohormonas o reguladores de crecimiento en el TVC no se determinaron en el presente estudio, nosotros sugerimos que juegan un papel importante en rendimiento y crecimiento de la planta.

Cuadro 9. Rendimiento y número de frutos por hectarea de dos cultivares de tomate desarrollados bajo fertilización orgánica y convencional.

Cultivar	Rendimiento (Mg ha ⁻¹) ¹⁾	Número de frutos ha ⁻¹
Cuauhtémoc	52.47 a*	613076 a
El Cid	55.64 a	640768 a
Fertilización		
F1	76.28 a	775000 a
F2	63.73 b	62500 b
F3	51.07 c	665000 b
F4	50.77 c	616680 b
F5	39.06 d	501680 c

¹⁾Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes

Pigmentos foliares. La concentración de clorofila en el tejido vegetal está relacionada con la fertilización de N (López-Cantarero *et al.*, 1994) y el contenido de N foliar (Haboudane *et al.*, 2002). El contenido foliar de N orgánico en el presente experimento para F1, F2 y F3 se encontraron en los niveles óptimos (Mills and Jones, 1996) a los 77 ddt, mientras que a los 105 ddt, la mayoría de las fuentes de fertilización denotaron niveles bajos. Por otra parte, el contenido de clorofila a (Cuadro 10) fue óptimo en F1 y F2 (Moreno *et al.*, 1999a) a los 77 ddt. El contenido de clorofila b en F3 se encontró por debajo del nivel óptimo, mientras que en F1 se encontró por arriba del rango reportado como óptimo. El contenido total de clorofila (a + b) y la relación clorofila a:b para la mayoría de las fuentes de fertilización estuvieron en el rango óptimo, con respecto al contenido foliar de carotenos, F1 y F4 se encontraron en el rango óptimo.

Cuadro 10. Influencia de la fertilización orgánica y convencional sobre los pigmentos y contenido de N orgánico foliar.

Cultivar/77 ddt	N (%)	Chl a	Chl b	Chl a+b	Chl a/b	Carotenos
Cuauhtémoc	3.14 a	0.016	0.014	0.030	1.143	0.015 a
El Cid	2.60 b	0.014	0.011	0.025	1.273	0.013 b
Fertilización						
F1	3.43 a	0.018	0.017	0.035	1.059	0.017 a
F2	3.36 b	0.014	0.013	0.027	1.077	0.013 d
F3	1.81 e	0.012	0.011	0.023	1.091	0.011 e
F4	3.14 c	0.017	0.016	0.033	1.063	0.016 b
F5	2.75 d	0.015	0.014	0.029	1.071	0.014 c
Cultivar/105 ddt						
Cuauhtémoc	2.16 b	0.017	0.014	0.031	1.214	0.015 a
El Cid	2.62 a	0.014	0.013	0.027	1.077	0.014 b
Fertilización						
F1	1.16 a	0.014	0.013	0.027	1.077	0.015 b
F2	0.83 c	0.017	0.015	0.032	1.133	0.016 a
F3	0.94 b	0.016	0.013	0.029	1.231	0.014 c
F4	0.62 e	0.018	0.015	0.033	1.200	0.016 a
F5	0.63 d	0.012	0.012	0.024	1.000	0.012 d

*Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes. Clorofilal a (Chl a, $\mu\text{g cm}^{-2}$); Clorofila b (Chl b, $\mu\text{g cm}^{-2}$); Carotenos ($\mu\text{g cm}^{-2}$).

Índices fisiológicos. Los índices fisiológicos difieren en relación a los niveles óptimos en diferente cultivar y sustrato. El índice vegetativo (IVe), proporciona información sobre la actividad metabólica de la planta a través del ciclo de cultivo (Moreno et al., 1999b). En nuestro estudio, el IVe fue mayor en F1 y F4, mientras que en F2 fue subóptimo (Cuadro 11) a los 77 ddt. Por otra parte, F5 registró el intervalo más bajo. El índice alcalino (IAI) alcanzó niveles altos en F1, F2, F3, F4 y F5 a los 77 ddt, mientras que a los 105 ddt F1 y F2 alcanzaron los niveles más altos y F4 el nivel más bajo. El rango subóptimo para este parámetro se obtuvo en F3. El índice de hierro (IFe) se encontró en los niveles óptimos en la mayoría de las fuentes de fertilización, mientras que

F1 presentó un nivel subóptimo a los 77 ddt. Por otra parte, a los 105 ddt todas la fuentes de fertilización se encontraron en los niveles óptimos.

Cuadro 11. Influencia de la fertilización orgánica y convencional sobre los indicadores fisiológicos.

Cultivar/77 ddt	Vegetative Index (Ive)	Alkaline Index (IAC)	Fe Index (Fe.-I)
Cuauhtémoc	1.05 a	1.74 b	1.92 a
El Cid	1.04 b	1.86 a	1.07 b
Fertilization			
F1	1.20 a	2.25 a	0.99 e
F2	1.04 c	1.59 d	1.15 c
F3	0.97 d	1.81 d	1.07 d
F4	1.15 b	2.06 b	1.17 b
F5	0.87 e	1.30 e	1.28 a
Cultivar/105 ddt			
Cuauhtémoc	0.74 b	1.17 b	1.15 a
El Cid	0.91 a	1.51 a	1.11 b
Fertilization			
F1	1.16 a	1.84 b	1.20 b
F2	0.83 c	2.12 a	1.10 d
F3	0.94 b	1.14 c	1.03 e
F4	0.62 e	0.83 d	1.11 c
F5	0.63 d	0.76 e	1.21 a

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes

Actividad NR *in vivo*. El principal factor limitante para la asimilación de NO_3^- es la actividad enzimática NR (Sivasankar and Oaks, 1996). El cuadro 12 muestra los valores obtenidos en el ensayo de la actividad NR *in vivo* en hojas de tomate, los valores más altos de actividad enzimática se presentaron en F1 y F2, con un incremento de al menos 36.29 % sobre el valor obtenido en F5 (77 ddt). En contraste, los valores mas altos en el ensayo *in vivo* se obtuvieron en F2, con un incremento de al menos 47.07 % sobre el menor valor obtenido en F5. Con respecto a la actividad enzimática NR inducida con NO_3^- , las plantas

mostraron una necesidad fundamental para este ion, lo cual indico una mayor actividad enzimática NR en las cinco formas de fertilización.

Los resultados obtenidos en la investigación coinciden con los obtenidos por Redinbaugh y Campbell (1991), y Crawford (1995) quienes encontraron que la actividad enzimática NR se modificó al alterar la concentración de NO_3^- en el medio de cultivo. La concentración de NO_2^- se incrementó al ser infiltrado con molibdeno (Mo), lo cual refleja una actividad enzimática mucho mayor cuando se induce con Mo. Esta actividad fue mayor en comparación con la actividad enzimática obtenida con nitratos, con los resultados anteriores se observa la importancia del Mo como cofactor en la actividad enzimática NR y la transformación de nitratos a nitritos (Zimmer and Mendel, 1999). Lo anterior concuerda con lo reportado por Lavon y Goldschmidt (1999), quienes encontraron que la infiltración con Mo afectó directamente la actividad enzimática NR. Los resultados obtenidos de la actividad enzimática NR inducida con nitratos e infiltrada con Mo al mismo tiempo denota la necesidad del cultivo de tomate por nitratos así como de Mo, para activar la enzima y de esta manera usar el N celular.

Cuadro 12. Influencia de los fertilizantes orgánicos y convencional sobre la actividad enzimática NR *in vivo* endógena y sobre la actividad enzimática NR presente en 50 mM NO₃⁻ (NR+NO₃⁻), 20 mM Mo (NR+Mo) y 50 mM NO₃⁻ y 20 mM Mo (NR+NO₃⁻+Mo) [μ mol (nitriatos) g⁻¹ (p.f) h⁻¹] en hojas de tomate.

Cultivar/77 ddt	NR Endógena	NR+NO ₃ ⁻	NR+Mo	NR+NO ₃ ⁻ +Mo
Cuauhtémoc	2.19 b	17.47 b	28.93 b	33.31 a
El Cid	2.60 a	19.54 a	29.79 a	29.30 b
Fertilización				
F1	2.70 b	21.92	25.00 a	34.04 c
F2	3.25 a	16.94 d	27.50 b	31.64 d
F3	2.17 c	20.12 c	27.84 c	37.98 a
F4	2.14 d	21.88 b	33.12 b	34.25 b
F5	1.72 e	11.69 e	33.36 a	18.63 e
Cultivar/105 ddt				
Cuauhtémoc	0.63 a	30.11 a	30.27 b	42.42 b
El Cid	0.41 b	24.69 b	36.08 a	45.51 a
Fertilización				
F1	0.81 a	37.34 a	36.09 b	48.86 a
F2	0.15 e	34.47 b	25.35 e	44.01 b
F3	0.66 b	15.89 e	32.57 c	41.43 e
F4	0.63 c	20.49 d	32.31 d	42.16 d
F5	0.36 d	28.83 c	39.59 a	43.37 c

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten destacar que el té de VC, preparado a partir del VC, tiende a provocar efectos positivos en los indicadores de desarrollo del tomate y chile jalapeño. Por lo que, puede ser considerado como fertilizante alternativo para la producción orgánica en invernadero, por contener nutrientes solubles que pueden abastecer la demanda nutritiva de estas hortalizas.

Chile jalapeño. El rendimiento y número de frutos por planta fueron afectados por los tratamientos de fertilización. El cultivar Euforia registró un incremento en el rendimiento de 56 %, con respecto al rendimiento obtenido por el cultivar Centella, mientras que el tratamiento F5 incrementó el rendimiento hasta 22.7 % en comparación con el testigo. El estudio sugiere que, al haber diferencias en rendimiento entre fuentes orgánicas e inorgánicas de los elementos nutritivos, el té de vermicompost en combinación con mezclas de arena: compost: vermicompost puede ser considerado como una alternativa para la producción orgánica de chile jalapeño bajo condiciones protegidas.

Tomate. Las plantas del tratamiento testigo (arena + fertilizante inorgánico) presentaron mayor rendimiento, superando en al menos 11.07, 28.92, 20.47 y 16.36 % a las plantas de los tratamientos orgánicos S2 (arena + té de TVC al

10 % de concentración), S3 (mezcla de arena: C + TVC al 2.5 % de concentración), S4 (mezcla de arena: VC + TVC al 2.5 % de concentración) y S5 (mezcla de arena: C: VC + TVC). En el tratamiento S3 se incremento en 12.75 % el contenido de solidos solubles con respecto al tratamiento S1. En plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S2 se incremento el contenido de Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que las plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S3 se incremento el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo, S1. El hibrido 'El Cid' presento mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el hibrido 'Cuauhtemoc' presento los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio se mostró que los tratamientos con fertilización orgánica (S2 y S5) pueden ser apropiados para la producción de tomate en invernadero.

Indicadores fisiológicos y bioquímicos en tomate. Los resultados muestran una fuerte influencia del tipo de fertilización en el contenido foliar de N. Con respecto a los pigmentos foliares proporcionaron buenos indicadores en el nivel de N en los diferentes tipos de fertilización. El rendimiento se decremento bajo la fertilización F2 en al menos 16.45 %, aunado a lo anterior esta fertilización obtuvo la mejor asimilación de NO_3^- . Por lo que, el uso de indicadores fisiológicos y bioquímicos son una herramienta para diagnosticar de forma precisa y rápida el estado nutricional del cultivo de tomate.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C., y R. Pire. 2004. Effects of vermicompost as substrate amendment on the growth of papaya (*Carica papaya* L.). *Interciencia*. 29(5): 274-279.
- Aira, M., y J. Domínguez. 2008. Optimizing vermicomposting of animal wastes: effects of dose of manure application on carbon loss and microbial stabilization. *Journal of Environmental Management* 88:1525-1529.
- Aira, M., y J. Domínguez. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja del vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*. 2: 385-395.
- Aira, M., F. Monroy, J. Domínguez., S. Mato. 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*. 38: 7-10.
- Aira, M., F. Monroy., J. Domínguez. 2006. *Eisenia fetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) activates fungal growth, triggering cellulose decomposition during vermicomposting. *Microbial Ecology*. 52: 738-746.
- Aira, M., F. Monroy., J. Domínguez. 2007a. *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microbial Ecology*. 54: 662-671.
- Aira, M., F. Monroy., J. Domínguez. 2007b. Microbial biomass governs enzyme activity decay during aging of worm-worked substrates through vermicomposting. *Journal of Environmental Quality*. 36: 448-452.
- Aira, M., F. Monroy., y J. Domínguez. 2007c. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*. 385: 252-261
- Aktas H., K. Abak., S. Sensoy. 2009. Genetic diversity in some Turkish pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes revealed by AFLP analyses. *African Journal of Biotechnology* 8(18): 4378-4386.
- Albuquerque, J. A., J. González., D. García., J. Cegarra.. 2006a. Effects of bulking agent on the composting of "alperujo", the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry*. 41:127-132.
- Albuquerque, J. A., J. González., J. García., J. Cegarra. 2006b. Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid byproduct of extraction olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 64: 470-477.
- Albuzio, A., G. Concheri, S. Nardi., G. Dell'Agnola. 1994. Effect of humic fractions of different molecular size on the development of oat seedlings grown in varied nutritional conditions. Pp. 199-204. *In*: N. Senesi and T.

- M. Mianom (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Alidadi, H., A. R. Parvaresh., M. R. Shahmansouri., H. Pourmoghadass., A. A. Najafpoor. 2007. Combined compost and vermicomposting process in the treatment and bioconversion of sludge. *Pak J Biol Sci* 10(21): 3944-3947.
- Alromian, F. M., y I. N. Nassar. 2004. Effect of municipal solid waste on the growth of rocket and spinach plants. *Pakistan Journal of Biological Science*. 7(8): 1316-1321.
- Altieri, M. *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. 1999. 4ta ed. Nordan-Comunidad. 235 pp.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards., R. M. Atiyeh., J. D. Metzger. 2004a. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*. 93: 139-144.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards., P. Bierman., C. Welch., J. D. Metzger. 2004b. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. effects on growth and yields. *Bioresource Technology*. 93: 145-153.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, A. Babenko, J. Cannon, P. Galvis., 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. *Applied Soil Ecology*. 39: 91-99.
- Arancon, N. Q., S. Lee, C. A. Edwards., R. M. Atiyeh. 2002. Effects of humic acids and aqueous extracts derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia*. 47: 741-744.
- Argüello, J. A.; Ledesma, A.; Núñez, S. B.; Rodríguez, C. H.; Diaz-Goldfarb, M. D. C. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience*. 41(3): 589-592.
- Anwar, M., D. D. Patra, S. Chand, A. Kumar, A. A. Naqvi., S. P. S. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36 (1-14): 1737-1746.
- Arshad, M., y W. T. Frankenberger Jr. 1993. Microbial production of plant growth regulators. Pp. 307-347. *In: F. B. Metting Jr. (Ed.). Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. Marcell Dekker, New York.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C. A. Edwards., J. D. Metzger. 2002a. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*. 81: 103-108.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C. A. Edwards., J. D. Metzger. 2000c. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*. 75: 175-180.
- Atiyeh, R., J. Dominguez., S. Subler., C. A. Edwards. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709-724.

- Atiyeh, R. M., C. A. Edwards, S. Subler., J. Metzger. 2000d. Earthworm processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigolds and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization*. 8(3): 215-223.
- Atiyeh, R. M., C. A. Edwards, S. Subler., J. D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*. 78: 11-20.
- Atiyeh, R. M., S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon., J. D. Metzger. 2002b. The influence of humic acids derived from organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*. 84: 7-14
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger., W. Shuster. 2000a. Effects of vermicomposts and compost on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards., J. Metzger. 1999. Growth of tomato plants in horticultural media amended with vermicompost. *Pedobiologia*. 43: 724-728.
- Azcon-Bieto, J. y M. Talón. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal 2ª Edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid. 651 pp.
- Barea, J. M., M. Navarro., E. Montana. 1976. Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*. 40: 129-134.
- Bar-Akiva., A. J. Sagiv.,J. Leshem. 1970. Nitrate reductase activity as an indicator for assessing the nitrogen requirement of grass crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 21(8): 405-407.
- Barbieri, P., T. Zanelli, E. Galli., G. Zanetti. 1986. Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* Sp6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. *Microbiology Letters*. 36: 87-90.
- Benítez, E., R. Nogales., C. Elvira., G. Masciandaro., B. Ceccanti. 1999. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Eisenia andrei*. *Bioresource Technology*. 67: 297-303.
- Benítez, E., H. Sainz., R. Melgar., R. Nogales. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management and Research*. 20: 134-142.
- Cabanas-Echevarría, M., A. Torres-García, B. Díaz-Rodríguez, E. F. H. Ardisana., Y. Creme-Ramos. 2005. Influence of three bioproducts of organic origin on the production of two banana clones (*Musa* spp AAB.) obtained by tissue cultures. *Alimentaria*. 369: 111-116.
- Canellas, L. P., F. L. Olivares, A. L. Okorokova., A. R. Facanha. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*. 130: 1951-1957.
- Canet, R., F. Pomares., B. Cabot., C. Chaves., E. Ferrer., M. R. Albiach. 2002. Composting as a management alternative for olive-mill pomace (alperujo) and other agricultural residues from South-Eastern Spain. In: Lowe, P. and Hudson, J A. (Eds.) Proceedings of the joint CIWEM and Aqua Enviro Technology Transfer 7th European Biosolids and Organic

- Residuals Conference. Vol. 1. November 2002. West Yorkshire, UK. Paper 47.
- Carpenter-Boggs, L. 2005. Diving into compost tea. *Biocycle* 46: 61-62.
- Cegarra, J., J. A. Albuquerque., J. González., G. Tortosa., D. Chaw. 2006. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill byproduct ("alperujo") managed by mechanical turning. *Waste Management*. 26: 1377-1383.
- Chaillou, S., y T. Lamaze. 2001. Ammoniacal nutrition of plants. pp 53-69. *En: Nitrogen assimilation by plants*. Morot-Gaudry J. F. (Ed.) Science Publishers Inc. USA.
- Chand, S., P. Pande, A. Prasad, M. Anwar., D. D. Patra. 2007. Influence of integrated supply of vermicompost and zinc-enriched compost with two graded levels of iron and zinc on the productivity of geranium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38: 2581-2599.
- Chaoui H. I., L. M. Zibilske., T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 295-302.
- Chen, Y., y T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. Pp. 191-197. *In: P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm and P. R. Bloom (Eds.). Humic substances in soil and crop sciences: selected reading*. American Society of Agronomy, Madison.
- Contreras-Ramos S. M., E. M. Escamilla-Silva., L. Dendooven. 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat Straw. *Biol Fertil Soil*. 41: 190-198.
- Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutriente and signal for plant growth. *Plant Cell*. 7: 859-868.
- Cruz, H. J. 2009. Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 238 pp.
- Cruz-Rodrigues, V., V. C. de Almeida-Theodoro., I. F. de Andrade., A. I. Neto., V. do Nascimento-Rodrigues., F. Villa-Alves. 2003. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. *Ciênc. Agrotec. Lavras*. 27(6): 1409-1418.
- De la Cruz-Lázaro E., M. A. Estrada-Botello., V. Robledo-Torres., R. Osorio-Osorio., C. Márquez-Hernández., R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*. 25(1): 59-67.
- De la Cruz-Lázaro E., R. Osorio-Osorio., E. Martínez-Moreno., R. A. J. Lozano., A. Gómez-Vázquez., R. Sánchez-Hernández. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*. 35(5): 363-368.
- Dell'Agnola, G., S. Nardi. 1987. Hormone-like effect and enhanced nitrate uptake induced by depolycondensed humic fractions obtained from *Allolobophora rosea* and *A. caliginosa* feces. *Biology & Fertility of Soils*. 4: 115-118.

- Diver, S., 2001. Notes on compost teas: A 2001 supplement to the ATTRA publication "Compost teas for plant disease control". ATTRA publication, Fayetteville, Arkansas.
- Diver, S. 2002. Compost teas for plant disease control. ATTRA. Pest management technical notes. p 1-19.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. Pp. 401-424. *In: C.A. Edwards (Ed.). Earthworm ecology*, 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton.
- Domínguez, J., R. W. Parmelee., C. A. Edwards. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47:53-60.
- Durán L., y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.
- Edwards, C.A., N. Q. Arancon., S. Greytak. 2006. Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *BioCycle* 47: 28-31.
- Edwards C. A., A. Askar., M. Vasko-Bennet., N. Arancon. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235 – 248. *In: Vermiculture Technology*, ed. C.A. Edwards, N. Arancon and R. Sherman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL
- Edwards, C. A., I. Burrows. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. Pp. 211-219. *In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds.). Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Edwards, J. W., y G. M. Coruzzi. 1989. Photorespiration and light act in concert to regulate expression of the nuclear gene for chloroplast and cytosolic glutamine synthetase. *Plant Cell* 1:241-248.
- El Harti, A., M. Saghi, J-A. E. Molina., G. Téller. 2001a. Production d'une substance rhizogène à effet similaire à celui de l'acide indole acétique par le ver de terre *Lumbricus terrestris*. *Canadian Journal of Zoology*. 79: 1911-1920.
- El Harti, A., M. Saghi, J. A. E. Molina., G. Téller. 2001b. Production des composés indoliques rhizogènes par le ver de terre *Lumbricus terrestris*. *Canadian Journal of Zoology*. 79: 1921-1932.
- Epstein, E., y A. J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates, Inc. Publishers. 400 pp.
- FAO. 2005. Terrastat. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2012] Disponible en: www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat
- FAOSTAT ProdSTAT Crops. 2010. FAO. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. (consulta: 18 de mayo de 2012).
- Fedovora, E., J. S. Greenwood., A. Oaks. 1994. In situ localization of nitrate reductase in maize roots. *Planta*. 194: 279-286.
- Ferreras, L., E. Gomez, S. Toresani, I. Firpo., R. Rotondo. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 97: 635-640.
- Fornes, F., D. Mendoza-Hernández., R. García-De la Fuente., M. Abad., R. M. Belda. 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative

- study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology*. 118: 296-305.
- Frankenberger, W. T. Jr., M. Arshad. 1995. *Phytohormones in soils: microbial production and function*. Marcel Dekker, New York. 503 pp.
- Benítez, E., H. Sainz., R. Melgar. N. Nogales. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Management and Research*. 20: 134-142.
- García, G. A., M. P. Berna., A. Roig. 2003. Carbon mineralization and plant growth in soil amended with compost samples at different degrees of maturity. *Waste Management & Research* 21:161-171.
- Garg, P., A. Gupta., S. Satya. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*. 97: 391-395.
- Gavrilov, K. 1963. Earthworms, producers of biologically active substances. *Zhurnal Obshchei Biologii*. 24: 149-54.
- Graff, O., F. Makeschin. 1980. Beeinflussung des ertrags von weidelgras (*Lolium multiflorum*) durch ausscheidungen von regenwürmern dreier verschiedener arten. *Pedobiologia*. 20: 176-180.
- Grappelli, A., E. Galli., U. Tomati. 1987. Earthworm casting effect on *Agaricus bisporus* fructification. *Agrochimica*. 31 (4-5): 457-461.
- Gramss, G., K. D. Voigt., H. Bergmann. 2003. Irrigation with plant extracts in ecofarming increases biomass production and mineral and organic nitrogen content of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 166(5): 612-620.
- Goenadi, D. H., I. M. Sudharama. 1995. Shoot initiation by humic acids of selected tropical crops grown in tissue culture. *Plant Cell Reports*. 15: 59-62.
- Golueke, C. G. 1975. Composting. A study of the process and its principles. Rodale Press Emmaus. 110 pp.
- Goyal, S., S. K. Dhull., K. K. Kapoor. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 96: 1584-1591.
- Gunadi B., y C. A. Edwards. 2003. The effects of multiple applications af different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia*. 47: 321-329.
- Gutiérrez-Mañero, F. J., B. Ramos-Solano, A. Probanza, J. Mehouchi, F. R. Tadeo., M. Talon. 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*. 111: 206-211.
- Gutiérrez-Miceli F. A., M. A. Ll. Olivia., N. P. Mendoza., S. B. Ruíz., J. D. Álvarez-Solís., L. Dendooven. 2011. Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition*. 34: 1642-1653.
- Gutiérrez-Miceli F. A., J. Santiago-Borraz., M. J. A. Montes., C. C. Nafete., M. Abud-Archila., M. A- Ll. Olivia., R. Rincón-Rosales., L. Dendooven. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*. 98: 2781-2786.

- Hashemimajd, K., M. Kalbasi, A. Golchin., H. Shariatmadari. 2004. Comparison of vermicompost and composts as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*. 6: 1107-1123.
- Hassen, A., K. Belguith., N. Jeddi., M. Cherif., A. Boudabous. 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 80: 217-225.
- Hayes, M. H. B., W. S. Wilson. 1997. *Humic substances, peats and sludges*. RSC, Cambridge. 506 pp.
- Hermosillo-Cereceres, M. A., J. González-García., S. J. Romero-Gómez., M. Luján-Favela., A. Hernández-Martínez., S. Arévalo-Gallegos. 2008. Relación genética de materiales experimentales de Chile tipo chilaca con variedades comerciales. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3): 301-307.
- Hernández J. A. A., F. L. Guerrero., L. E. C. Mármol., J. M. B. Bárcenas., E. Salas. 2008. Caracterización física según granulometría de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Interciencia*. 33(9): 668-671.
- Hernández A., H. Castillo., D. Ojeda., A. Arras., J. López., E. Sánchez. 2010. Effect of vermicompost and compost on lettuce production. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70(4): 583-589.
- Hidalgo, P. R., y R. L. Harkess. 2002a. Earthworm casting as a substrate amendment for *Chrysanthemum* production. *Hortscience*. 37(7): 1035-1039.
- Hidalgo, P. R., y R. L. Harkess. 2002b. Earthworm casting as a substrate for *Poinsettia* production. *Hortscience*. 37(2): 304-308.
- Inbal, E., y M. Feldman. 1982. The response of a hormonal mutant of common wheat to bacteria of the genus *Azospirillum*. *Israel Journal of Botany*. 31: 257-263.
- Ingham, E. R. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual; Latest Methods and Research*. Soil Food Web Inc., Corvallis, OR. 91 pp.
- Ireland, R.J., y P. J. Lea. 1999. The Enzymes of Glutamine, Glutamate, Asparagine and Aspartate Metabolism. pp. 49-109. *En: Plant Amino Acids. Biochemistry and Biotechnology*. Singh BK (ed.), Marcell Dekker, Inc. New York.
- Jagnow, G. 1987. Inoculation of cereal crops and forage grasses with nitrogen-fixing rhizosphere bacteria. Possible causes of success and failure with regard to yield response: A review. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 150: 361-368.
- Janzen, R. A., F. D. Cook., W. B. McGill. 1995. Compost extract added to microcosms may simulate community-level controls on soil microorganisms involved in element cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. 27(2):181-188.
- Karmegam, N., K. Alagumalai., T. Daniel. 1999. Effect of vermicompost on the growth and yield of green gram (*Phaseolus aureus* Roxb.). *Tropical Agriculture*. 76: 143-146.
- Keeling, A. A., K. R. McCallum., C. P. Beckwith. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum*

- aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioresource Technology* 90: 127-132.
- Kiehl, E. J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Editorial Ceres Ltda. São Paulo, Brasil. 492 pp.
- Krishnamoorthy, R. V., S. N. Vajranabhiah. 1986. Biological activity of earthworm casts: An assessment of plant growth promoter levels in casts. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Animal Science)*. 95: 341-35.
- Kucey, R. M. N. 1983. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 63: 671-678.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agrosistemas. 2ª edición. Ediciones Mundi Prensa. 293 pp.
- Lal, R. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International*. 31(4): 575-584.
- Lam, H. M., K. T. Coschigano., I. C. Oliveira., R. Melo-Oliveira, G. M. Coruzzi. 1996. The molecular genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 569-593.
- Lazcano, C., M. Gómez-Brandón., J. Domínguez. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72:1013-1019
- Lazcano C., J. Arnold., A. Tato., J. G. Zaller., J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 994-951.
- Lawlor, D. W. 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *J. Exp. Bot.* 53: 773-787.
- Lee, Y. S., R. J. Bartlett. 1976. Stimulation of plant growth by humic substances. Bhattacharjee, G., P. S. Chaudhuri., M. Datta. 2001. Response of paddy (Var. TRC-87-251) crop on amendment of the field with different levels of vermicompost. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 3(3): 191-196.
- López-Cantorero, I., J. M. Ruiz., S. Hernández., L. Romero. 1997. Phosphorus metabolism and yield response to increases in nitrogen- phosphorus fertilization: Improvement in greenhouse cultivation of eggplant (*Solanum melogena* c.v. bonica). *J. Agric. Food Chem.* 45: 4227-4231.
- López-Lefebvre, L. R., J. M. Ruiz., R. M. Rivero., P. C. García., E. Sánchez., L. Romero 2000. Role of CaCl₂ in ammonium assimilation in roots of tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). *J. Plant Physiol.* 156: 672-677.
- Lores, M., M. Gomez-Brandon, D. Perez-Diaz., J. Domínguez. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 2993-2996.
- Maheswari, T. U., K. Haripriya., S. Kamalakannan. 2003. Impact of foliar organic nutrients on nutrient uptake pattern of chilli (*Capsicum annum* L.) cv. K2. *South Indian Horticulture*. 51: 168-172.

- Maheswari, T. U., K. Haripriya., P. Poonkodi., S. Kamalakannan. 2004. Effect of foliar application of organic nutrients on some quality indices and economics of chilli (*Capsicum annum* L.). *Advances in Plant Science*.17(1): 259-262.
- Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti., S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*. 72: 9-17
- Márquez-Hernández, C., P. Cano-Ríos., Y.I Chew-Madinaveitia., A. Moreno-Reséndez., N. Rodríguez-Dimas. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183-188.
- Márquez H. C., P. R. Cano., N. D. Rodríguez. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*. 34(1): 69-74.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition in higher plants. 2a ed. London, Academic Presss. 889 pp.
- Mengel, K., y E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 849 pp.
- Migge, A., G. Meya., E. Carrayol., B. Hirel, T. W. Becker. 1996. Regulation of the subunit composition of tomato plastidic glutamine synthetase by light and the nitrogen source. *Planta*. 200: 213-220.
- Miller, A. J. y M. D. Cramer. 2004. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil* 274: 1–36.
- Miller A. J., y S. Smith. 1996. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. *Journal of Experimental Botany*. 47 (300): 843-854.
- Mirza, M. S., W. Ahmad, F. Latif, J. Haurat, R. Bally, P. Normand., K. A. Malik. 2001. Isolation, partial characterization, and the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micro-propagated sugarcane in vitro. *Plant and Soil*. 237: 47-54.
- Moccia, S., D. Frezza., Y. Chaera., E. Mónaco. 1998. Tomate “cherry”: evaluación de componentes de calidad en tres híbridos durante el almacenamiento. *Horticultura Argentina*, 17: 5-10.
- Muscolo, A., F. Bovalò, F. Gionfriddo., S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 1303-1311.
- Muscolo, A., M. Felici, G. Concheri., S. Nardi. 1993. Effect of earthworm humic substances on esterase and peroxidase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Biology and Fertility of Soils*. 15: 127-131.
- Mylonas, V. A., C. B. Mccants. 1980. Effects of humic and fulvic acids on growth of tobacco. I. Root initiation and elongation. *Plant and Soil*. 54: 485-490.
- Nardi, S., G. Arnoldi., G. Dell’Agnola. 1988. Release of hormone-like activities from *Alloborophora rosea* and *Alloborophora caliginosa* feces. *Journal of Soil Science*. 68: 563-657.
- Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo., A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1527-1536.

- Nielson, R. L. 1965. Presence of plant growth substances in earthworms demonstrated by paper chromatography and the Went pea test. *Nature*. 208: 1113-1114.
- Nogales, R. 2005. Gestión de residuos de la industria agroalimentaria. En *Tecnologías aplicables a la reutilización de los residuos orgánicos, agrícolas o alimentarios*. Navarro, G. M y Bustillos, N. J. M. (Eds.). Universidad de Burgos. p 99 – 114.
- Nogales. R., C. Cifuentes., E. Benitez. 2005. Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *J. Environ. Sci. Health, Part B*, 40: 659-673.
- Olivares-Campos M. A., A. Hernández-Rodríguez., C. Vences-Contreras., J. L. Jáquez-Balderrama., D. Ojeda-Barrios. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*. 28 (1): 27-37.
- Omodeo (Eds.). *On Earthworms. Selected Symposia and Monographs 2*. Mucchi Editore, Modena.
- Padgett, P. E., R. T. Leonard. 1996. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. *J. Exp. Bot.* 47: 871-883.
- Pant A., T. J. K. Radovich., N. V. Hue., N. Q. Arancon. 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak choi Yield, quality, and Soil Biological Properties. *Compost Science & Utilization*. 19(4): 279-292.
- Paul, E. A. 2007. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Academic Press. USA. 3rd Edición. 552 pp.
- Paredes, C., J. Cegarra., M. P. Bernal., A. Roig. 2005. Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. *Environmental Internacional*. 31(2): 305-312.
- Peralta, I.E., S.K. Knapp and D.M. Spooner. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from Northern Peru . *Systematic Botany* 30 (2): 424-434.
- Pérez, J., J. Muñoz-Dorado., T. De la Rubia., J. Martínez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An overview. *Int. Microbiol.* 5: 53-63.
- Pieper, J. R., D. M. Barrett. 2009. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 89: 177–194.
- Prabha, M. L., I. A. Jayraay, R. Jayraay., D. S. Rao. 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*. 9(2): 321-326.
- Quaggiotti, S., B. Ruperti, D. Pizzeghello, O. Francioso, T. Vitaliano., S. Nardi. 2004. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*. 55: 803-813.
- Raviv, M. 2005. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. *HortTechnology* 15(1): 52-57.
- Ramesh, P., Singh, M., Rao, A.S. 2005. Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Sci.* 88(4): 561-568.

- Reddy, M. V., y K. Ohkura. 2004. Vermicomposting of rice-straw and its effects on sorghum growth. *Tropical Ecology*. 45(2): 327-331.
- Richard, T. L., y R. Rynk. 2005. Sistemas de producción comercial de compost. *En: Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Stofella, P. J. y Kahn, B. A. (Eds.). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p 51-94.
- Rodríguez V., M. A. Valdez-Perez., M. Luna-Guido., J. M. Ceballos-Ramírez., O. Franco-Hernández., O. Cleemput., R. Marsch., F. Thalasso., L. Dendooven. 2011. Emission of nitrous oxide and carbón dioxide and dynamics of mineral N in wastewater sludge, vermicompost or inorganic fertilizer amended soil at different wáter contents: A laboratory study. *Applied Soil Ecology* 49: 263-267.
- Rodríguez-Dimas N., P. Cano-Rios., E. Favela-Chávez., U. Figueroa-Viramontes., V. de Paul-Álvarez., A. Palomo-Gil., C. Márquez-Hernández y A. Moreno-Reséndez. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura* 13(2): 185-192.
- Ruiz, J. M., y L. Romero. 2002. Relationship between potassium fertilization and nitrate assimilation in leaves and fruits of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Assoc. Appl. Biol.* 140: 241-249.
- Ruiz, J. M., N. Castila, and L. Romero. 2000. Nitrogen metabolism in pepper plants applied with diferent bioregulators. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2925-2929.
- Ruiz, J. M., y L. Romero. 1998. Tomato gnotype inrelation to nitrogen utilization and yield. *J. Agric. Food Chem* 46: 4420-4422.
- Ruiz, J. M., y L. Romero. 1999. Nitrogen efficiency and metabolism in grafted melón plants. *Scientia Horticulturae*. 81: 113-123.
- Salisbury, F. B., y C. W. Ross. 1992. Mineral nutrition. p 96-113. *En: Plant Physiology*. 4ª ed. California, Wadsworth International.
- Sánchez, C. E., J. M. Soto., A. Núñez, J. M. Ruiz., L. Romero. 2005. Biosynthesis of nonstructural carbohydrates and their distribution in greenbean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Strike): deficiency vs toxicity of nitrogen. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 55-61.
- Sánchez, C. E., J. Soto, J. Ruíz., L. Romero. 2006. Caracterización del estado nutricional y fisiológico en plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) sometidas a un estrés por nitrógeno. Editorial de la universidad de Granada. 206 pp.
- Sechley, K. A., T. Yamaya., A. Oaks. 1992. Compartmentation of nitrogen assimilation in higher plants. *Int. Rev. Cytol.* 134: 85-163.
- Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011a. Producción agrícola de tomate. [Fecha de consulta: octubre de 2012.]. Disponible en: www.siap.gob.mx.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011b. Producción agrícola de chile verde. [Fecha de consulta: octubre de 2012.]. Disponible en: www.siap.gob.mx.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011c. Producción agrícola de tomate cherry. [Fecha de consulta: octubre de 2012.]. Disponible en: www.siap.gob.mx.
- Scott, M. A. 1988. The use of worm-digested animal waste as a supplement to peat in loamless composts for hardy nursery stock. Pp. 231-229. *In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds.). Earthworms in waste and environmental management.* SPB, The Hague.
- Shaked, A., y A. Bar-Akiva. 1967. Nitrate reductase activity as an indication of molybdenum level and requirement of citrus plants. *Phytochemistry*. 6(3): 347-350.
- Singh, A., y S. Sharma. 2002. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*. 85(2):107-111.
- Springett, J. A., y J. K. Syers. 1979. The effect of earthworm casts on ryegrass seedlings. Pp. 44-47. *In: T. K. Crosby and R. P. Pottinger (Eds.). Proceedings of the 2nd Australasian Conference on Grassland Invertebrate Ecology.* Government Printer, Wellington.
- Steffen G. P. K., Z. I. Antonioli, R. B. Steffen., R. G. Machado. 2010. Cascara de arroz y estiércol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s). Número Especial 2: 333:343.
- Sunil, K., C. R. Rawat, D. Shiva., K. R. Suchit. 2005. Dry matter accumulation, nutrient uptake and changes in soil fertility status as influenced by different organic and inorganic sources of nutrients to forage sorghum (*Sorghum bicolor*). *Indian Journal of Agricultural Science*. 75(6): 340-342.
- Suthar S. 2007. Production of vermifertilizer from guar gum industrial wastes by using composting earthworm *Perionyx sansibaricus* (Perrier). *The Environmentalist*. 27(3): 329-335.
- Suthar S., S. Singh. 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavates* and *Perionyx sansibaricus*). *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 5(1): 99-106.
- Taiz L. y Zeiger E. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. 1338 pp.
- Tan, K. H., y D. Tantiwiranond. 1983. Effect of humic acids on nodulation and dry matter production of soybean, peanut, and clover. *Soil Science Society of America Journal*. 47: 1121-1124
- Tomati, U., A. Grappelli., E. Galli. 1987. The presence of growth regulators in earthworm worked wastes. Pp. 423-436. *In: A. M. Bonvicini Paglioi and P. Tomati, U., A. Grappelli., E. Galli. 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. Biology and Fertility of Soils*. 5: 288-294.
- Tomati, U., E. Galli, A. Grappelli., G. Dihena. 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings. *Biology and Fertility of Soils*. 9: 288-289.
- Tomati, U., y E. Galli. 1995. Earthworms, soil fertility and plant productivity. *Acta Zoologica Fennica*. 196: 11-14.
- Tomati, U., A. Grappelli., E. Galli. 1983. Fertility factors in earthworm humus. Pp. 49-56. *In: U. Tomati and A. Grappelli (Eds.). Proceedings of the International Symposium on Agricultural and Environmental Prospects in*

- Earthworm Farming*. Tipolitografia Euromodena, Modena. *Soil Science Society of America Journal*. 40: 876-879.
- Tringovska I., y T. Dintcheva. 2012. Vermicompost as substrate amendment for tomato transplant production. *Sustainable Agriculture Research*. 1(2): 115-122.
- Tuomela, M., M. Vikman., A. Ataca., M. Itävaara. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*. 72: 169-183.
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255: 571-586.
- Warman P. R., y M. J. AngLopez. 2010. Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth medium. *Bioresource Technology*. 101: 4479-4483.
- Welke, S. E. 2001. Effectiveness of compost tea extracts as disease suppressants in fresh market crops in British Columbia. Organic farming research foundation (OFRF) Project report # 00-03. North Okanagan Organic Association, Vernon, BC, Canada. [Fecha de consulta: noviembre de 2012]. Disponible en: <http://www.humusplantula.com/index.htm/files/Effectiveness-of-compost-extracts-as-disease-suppressants-in-fresh-market-crops-in.pdf>
- Welke, S. E. 2005. The effect of compost extract on the yield of strawberries and the severity of *Botrytis cinerea*. *Journal of Sustainable Agriculture*. 25(1): 57-68.
- Weltzien, H. C. 1991. Biocontrol of foliar fungal disease with compost extracts. In: Andrews, J.H., Hirano, S.S. (Eds.), *Microbial Ecology of Leaves*. Springer-Verlag, New York, pp. 430-450.
- Woodall, J., J. B. Boxall., J. Pearson. 1996. Changing perspectives in plant nitrogen metabolism the central role of glutamine synthetase. *Sci Prog*. 79: 1-26.
- Zandonadi, D. B., L. P. Canellas., A. Rocha Façanha. 2006. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*. 225(6): 1583-1595.
- Zhai Z., D. L. Ehret., T. Forge., T. Helmer., W. Li., M. Dorais., A. P. Papadopoulod. 2009. Organic Fertilizers for greenhouse Tomatoes: Productivity and Substrate Microbiology. *HortScience*. 43(3): 800-809.
- Zucconi, F., y M. De Bertoldi. 1986. Organic waste stabilization through composting and its compatibility with agricultural use. In Wise, D. L. (Ed.) *Global bioconversions*. CRC Press. Boca Ratón, Fl. 3: 109-137.

1.- Impacto del té de vermicompost sobre el crecimiento, rendimiento y contenido nutricional en frutos de tomate y chile jalapeño, bajo condiciones protegidas.

Artículo 1. Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Impacto del té de vermicompost sobre la producción de chile jalapeño, bajo condiciones protegidas

Impact of vermicompost tea on the production of jalapeño pepper under protected conditions

Desarrollo de chile jalapeño con té de vermicompost (título abreviado)

César Márquez-Quiroz ¹

Arturo Palomo-Gil ²

Alejandro Moreno-Reséndez ³

Uriel Figueroa-Viramontes ⁴

Valentín Robledo-Torres ⁵

José Antonio Cueto-Wong ⁶

Esteban Sánchez-Chávez ⁷

Efraín De la Cruz-Lázaro ⁸

Sayani Teresa López-Espinosa ⁹

Pedro Cano-Ríos ¹⁰

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL). Periferico y Carretera a Santa Fé S/N. Torreón, Coahuila. México.

² Profesor-investigador. Depto. De Fitomejoramiento. UAAAN-UL. México.

³ Profesor-investigador. Depto. De Suelos. UAAAN-UL. México.

⁴ Investigador. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México.

⁵ Profesor-investigador. Depto. De Horticultura UAAAN. México.

⁶ Investigador. Centro Nacional de Investigación-RASPA-INIFAP. México.

⁷ Investigador. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. México.

⁸ Profesor-Investigador. UJAT. México.

⁹ Estudiante de Maestría en Ciencias Agropecuarias. UAAAN UL. México.

¹⁰ Profesor-Investigador. Depto. De Horticultura. UAAAN.UL. México.
canorp49@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó el impacto del té de vermicompost (TVC) en combinación con mezclas (M) de arena (A): compost (C): vermicompost (VC) como fuente de nutrimento en la producción de chile jalapeño orgánico. Durante el ciclo primavera-verano 2011 se evaluaron los cultivares Centella y Euforia bajo cinco tratamientos de fertilización los cuales fueron: F1 = A + solución nutritiva inorgánica; F2 = A + TVC; F3 = MA:C (relación 1:1; v/v) + TVC; F4 = MA:VC (relación 1:1; v/v) + TVC y F5 = MA:C:VC (relación 2:1:1; v/v) + TVC. Se evaluó: la dinámica de crecimiento, el rendimiento total, número de frutos por planta, espesor de pulpa, longitud y diámetro ecuatorial del fruto. El rendimiento se incremento 56 % en el cv. Euforia con respecto al cv. Centella, mientras que el tratamiento F5 registró un incremento de 22,7 % en comparación con el tratamiento F1. El estudio sugiere que, al haber diferencias en rendimiento entre fuentes orgánicas e inorgánicas de fertilización, el TVC aplicado en el sustrato A y en combinación con MA:VC y MA:C:VC pueden ser considerados como alternativa para la producción orgánica de chile jalapeño en invernadero por contener elementos nutritivos solubles que satisfagan la demanda nutritiva de esta hortaliza.

Palabras clave • *Capsicum annuum* • fertilización orgánica • cultivo protegido • vermicompost • *Eisenia fétida*

ABSTRACT

We assessed the impact of the vermicompost tea (VCT) in combination with mixtures (M) of sand (S):compost (C): vermicompost (VC) as a source of nutrient in the production of organic jalapeño pepper. During the spring-summer seasons of 2011 Centella and Euforia cultivars were evaluated under five fertilizer treatments which were: F1 = S + inorganic nutrient solution; F2 = S + VCT; F3 = MS:C (ratio 1:1; v/v) + VCT; F4 = MS:VC (ratio 1:1; v/v) + VCT and F5 = MS:C:VC (ratio 2:1:1; v/v) + VCT. The evaluated variables were: dynamics of growth, total yield, total fruits per plant, pulp thickness, length and equatorial diameter of the fruit. The yield was increased 56 % in the cv. Euforia compared to cv. Centella, while F5 treatment showed an increase of 22,7 % compared with the F1 treatment. The study suggests that having yield differences between organic and inorganic sources of fertilization, the VCT applied on the S and

in combination with MSVC and MSCVC can be considered as an alternative to organic jalapeño pepper production in greenhouse, due to contain soluble nutrients that satisfy the nutriment requirements of this crop.

Keywords • *Capsicum annuum* • organic fertilizer • protected crop • vermicompost • *Eisenia fétida*

INTRODUCCIÓN

En la República Mexicana, solo seis estados concentran en promedio 79 % de la producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) bajo un sistema de producción con insumos inorgánicos, destaca el estado de Chihuahua como el principal productor, seguido de los estados de Sinaloa, Michoacán, Jalisco, Tamaulipas y Sonora (28). La producción de esta hortaliza en condiciones protegidas incrementa el rendimiento y la calidad de fruto, evita factores ambientales adversos, garantiza frutos durante todo el año y, sobre todo, aumenta las ganancias con relación a la producción en campo (18). Por otro lado, la superficie empleada en sistemas de producción orgánica ascendió a 231,50 ha en 2011, con rendimiento promedio de 13 Mg ha⁻¹ y con un precio 3,51 veces mayor que el chile jalapeño convencional (29). Los sistemas de producción varían en cuanto a variedades, sustratos de crecimiento, densidad, fecha de siembra, dosis de elementos nutritivos, y técnicas de control de plagas y enfermedades, entre otros factores. Al respecto, Dodson *et al.* (11) mencionan que la diferencia entre la producción en invernadero convencional con respecto a la orgánica, varía en el tipo de sustrato, las prácticas de fertilización y el método de control fitosanitario.

La adición de compost (C) y vermicompost (VC) a los suelos y sustratos de cultivo incrementa el crecimiento y la productividad de diversos cultivos hortícolas como el tomate (14, 31), la lechuga (31), el chile (1), el ajo (2), entre otros. A diferencia de los fertilizantes minerales el C y VC constituyen una fuente de elementos nutritivos de lenta liberación y fácilmente disponibles a medida que la planta los va demandando (10), al mezclar estos materiales con medios inertes como la arena se mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia. Además, ambos productos pueden satisfacer los requerimientos nutrimentales de cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (19). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales,

principalmente de nitrógeno (24); lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del nitrógeno tanto en el C, como en el VC (18). En los sistemas de producción bajo condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición como el extracto acuoso de VC ó té de VC (TVC), solución que resulta de la fermentación aeróbica de VC en agua potable, debido a que contiene nutrimentos, ácidos orgánicos, reguladores de crecimiento, microorganismos benéficos y metabolitos microbianos (12, 22, 23). Sin embargo a la fecha existen pocas referencias acerca del impacto del TVC como fuente de fertilización y en combinación con C y VC, para satisfacer los requerimientos nutrimentales del cultivo de chile jalapeño.

Con base en lo anterior los objetivos de este estudio fueron evaluar el impacto del té de vermicompost en combinación con mezclas de arena:compost:vermicompost como fuente de nutrimento en la producción de chile jalapeño orgánico y determinar si puede sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes sintéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló durante el ciclo agrícola P-V 2011, en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL) localizado geográficamente a 25° 05' y 26° 54' N y 101° 40' y 104° 45' O. El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y protegido con malla sombra durante las estaciones del año más calurosos, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared húmeda y dos extractores. Con ventanas laterales de 1,20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegidas con malla antiafido (Malla Plas®).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x5, con dos cultivares de chile jalapeño: Centella y Euforia (híbridos de la compañía Enza Zaden® y Harris Moran®, respectivamente) y cinco fuentes de fertilización. La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y se tuvieron 16 repeticiones por tratamiento.

El compost fue comercial (MaxCompost[®]) y el VC se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la UAAAN-UL. En este modulo se utilizó estiércol de bovino con paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.) (relación 80:20), y lombrices *Eisenia fétida* (3, 17), durante un periodo de 90 días (6), para la preparación del VC empleado en el presente experimento. Las características químicas y composición nutrimental de los tratamientos usados se presentan en la tabla 1. La composición de la solución nutritiva empleada (tabla 2) fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (9).

Para preparar el TVC al 10 % de concentración se aplicó el método recomendado por Edwards *et al.* (12), con una variación consistente en que la bolsa con VC se introdujo en un recipiente con 20 L de agua durante cinco minutos para lavar el exceso de sales, antes de someterse a oxigenación. En un contenedor de 60 L de capacidad se oxigenaron 45 L de agua con una bomba de aire (Biopro: BP9891. Tiray Technology Co Ltd[®]) 2 h antes de introducir la bolsa con 4,5 kg de VC; la oxigenación continuo hasta el fin del proceso (24 h). Se agregaron 40 g de piloncillo o panela, producto elaborado a partir de jugo de caña (*Saccharum officinarum* L.), sin refinar (32), como fuente de energía para promover el crecimiento y desarrollo de los microorganismos.

Las formas de fertilización evaluadas fueron: F1 = A + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = A + TVC al 10 % de concentración; F3 = MA:C (1:1 v:v) + T VC al 2,5 % de concentración; F4 = MA:VC (1:1 v:v) + TVC al 2,5 % de concentración y F5 = MA:C:VC (2:1:1 v:v) + TVC al 2,5 % de concentración.

La siembra se realizó el 6 de marzo de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades rellenas con Peat Moss (Premier[®]). El trasplante se efectuó el 9 de abril de 2011, colocando una planta por contenedor. Estos consistieron en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, llenadas con base en el volumen. La densidad de población fue de 4 macetas m⁻². La arena utilizada en los sustratos fue previamente desinfectada con una solución de agua y cloro al 5 %.

Tabla 1. Análisis químico de la arena, compost, vermicompost y té de vermicompost.

Table 1. Chemical analysis of the sand, compost, vermicompost and vermicompost tea.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(%)						(mg kg ⁻¹)				(dS m ⁻¹)
C [†]	2,41	1,19	3,355	8,76	0,942	0,567	5920	260	160	8,5	6,7
VC	1,27	0,15	0,882	6,92	0,596	0,101	7090	330	210	8,2	2,4
A	0,011	0,0005	0,01	0,004	0,0016	0,007	ND	1,2	2,4	7,5	0,65
TVC	0,83	0,49	0,71	3,23	0,75	0,20	6,4	2,7	4,9	8	2,0

[†]C = compost; VC = vermicompost; A = arena; TVC = té de VC al 10 % de concentración; ND = no detectado.

[†]C = compost; VC = vermicompost; A = sand; TVC = VC tea at 10 % of concentration; ND = not detected.

Tabla 2. Concentración de la solución nutritiva empleada para el desarrollo de chile jalapeño en invernadero.**Table 2.** Concentration of the nutrient solution used to grow jalapeño pepper under greenhouse.

Etapa/lon	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁻	Cl ⁻	CE [†]
	(mmol L ⁻¹)										(dS m ⁻¹)
Plantación	6	0,5	1,5	4	4	1	1,5	1	<5	3	1,4
Floración	8	0,5	1,5	6	4	1,5	3	1	<5	3	1,8
Cosecha	10	0,05	1,5	7	4	2	3	1	<5	5	2,2

[†]CE = conductividad eléctrica.

[†]CE = electrical conductivity.

La aplicación del TVC se realizó diariamente, y para preservar su calidad éste se mantuvo aireado durante 24 h; para el tratamiento F2, se aplicaron 0,5 L de TVC al 10 % de concentración para cada maceta, mientras que para los tratamientos F3, F4 y F5, el TVC se diluyó a una proporción de 1:3 utilizando 1 L de TVC por cada 3 L de agua potable para tener una concentración al 2.5 %. De esta dilución se aplicó 1 L por maceta. El pH del TVC fue ajustado a un valor de 5,5 con ácido cítrico grado alimenticio (C₆H₈O₇*H₂O) aplicado a una concentración 5 mM (1,2 g L⁻¹) (7). Para satisfacer la demanda hídrica del cultivo se utilizó un sistema de riego por goteo en todos los tratamientos y la cantidad de agua aplicada, según la

etapa fenológica del cultivo, osciló de 0,35 a 1,9 L·planta⁻¹ día⁻¹. Esta se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C1S1, con una relación de absorción de sodio de 2,18) (5); presentó una CE de 1,05 dS·m⁻¹, un pH de 7,8; y la concentración de cationes con valores: Ca²⁺ = 3,51; Mg²⁺ = 0,48; K⁺ = 0,22; Na⁺ = 2,71 mmol·L⁻¹ y de aniones: HCO₃⁻ = 3,12; Cl⁻ = 2,3; SO₄²⁻ = 2,62 mmol·L⁻¹. Durante el ciclo de cultivo, que duró 144 días después del trasplante (ddt), la temperatura mínima y máxima dentro del invernadero fluctuó entre 17,4 y 36,9 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 20 y 79 %, respectivamente.

En cada unidad experimental se registró la altura de planta y el rendimiento total; la calidad de fruto se determinó en cuatro plantas por tratamiento y en 15 frutos por planta, considerando las siguientes variables: peso individual, espesor de pericarpio, número de lóculos en el fruto, longitud del fruto y diámetro ecuatorial. Para analizar el comportamiento de la variable altura de planta a través del tiempo, se utilizó regresión lineal, mientras que en las variables de rendimiento y calidad se aplicó un análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizó una comparación entre medias utilizando la prueba DMS al 5 %. Los análisis se realizaron con apoyo del programa estadístico SAS (30).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La dinámica de crecimiento de las plantas de chile jalapeño, cv. Centella y Euforia, en las diferentes fertilizaciones evaluadas se muestran en las ecuaciones de regresión lineal que se incluyen en la tabla 3. El ajuste lineal para todos los tratamientos resultó significativo ($P \leq 0,05$) con r^2 que fluctuaron entre 87 y 99 %. Los tratamientos que promovieron la mayor altura de planta, al concluir el ciclo del cultivo a los 144 ddt, fueron el F1, así como el F4 y F5, para ambos genotipos. En el presente trabajo, la altura final promedio para los tratamientos F1, F2, F3, F4 y F5 del cv. Centella fue de 112,01; 57,69; 78,39; 133,81 y 158,89 cm, respectivamente, mientras que la altura final promedio para los tratamientos F1, F2, F3, F4 y F5 del cv Euforia fue de 120,48; 72,85; 73,25; 135,26 y 169,03 cm, respectivamente. Este comportamiento se puede atribuir a la carga genética de los genotipos y su interacción con el medio donde se desarrolló el

cultivo, es decir la fertilización que incluyó todos los componentes: MA:C:VC (relación 2:1:1 v:v) + TVC al 2,5 % de concentración. Además se destaca que el tratamiento de fertilización F4 (MA:VC + TVC al 2,5 % de concentración) registró el segundo valor más alto para ambos cultivares. Estos valores en parte se deben a la presencia del VC y del TVC, con lo cual se fortalece el hecho de que estos materiales, donde se contempla el empleo de las lombrices de tierra para la elaboración de estos productos, son de mayor calidad que los abonos orgánicos generados por los métodos tradicionales de composteo (16, 21, 26).

Adicionalmente, al determinar que los tratamientos de fertilización F4 y F5, que incluyeron la aplicación del VC y del TVC, superaron al tratamiento testigo, con A + solución nutritiva, se ha coincidido con lo reportado por Rodríguez-Ortiz *et al.* (25) quienes concluyeron que la fertilización con VC, a razón de 1,5 y 3,0 Mg ha⁻¹, incorporado al momento del trasplante de la cebollita cambray (*Allium cepa* L.) favoreció una mayor altura de esta especie al compararse con las plantas que recibieron la fertilización sintética.

Por otra lado, la fuente de variación de los tratamientos fertilización x genotipo fue significativa ($P \leq 0,05$), para la longitud de fruto, número de lóculos y espesor de pericarpio (tabla 4). El mayor peso en el cultivar Centella y Euforia se obtuvo en los tratamientos F5 y F1, respectivamente, mientras que el menor peso se registró en el tratamiento F2. Pero de acuerdo con los estándares de la marca oficial “México Calidad Suprema” para chiles, solo los tratamientos F3, F4 y F5 tuvieron longitudes mayores de 8,3 cm (27).

Tabla 3. Ecuaciones de regresión para las fuentes de fertilización en relación con la altura de planta en chile jalapeño orgánico.

Table 3. Regression equations for fertilization sources regarding plant height in organic jalapeño pepper.

Fertilización [†]	Altura cv. Centella Ecuación de Regresión [‡]	r ²	Altura cv. Euforia Ecuación de Regresión	r ²
F1	y = 0,79365x – 2,27024	0,96	y = 0,87483x – 5,49107	0,96
F2	y = 0,46365x – 9,06708	0,87	y = 0,57390x – 9,7909	0,93
F3	y = 0,57569x – 4,50199	0,92	y = 0,53007x – 3,07023	0,96
F4	y = 0,93595x – 0,96158	0,93	y = 0,96181x – 3,23637	0,92
F5	y = 1,17946x – 10,94975	0,99	y = 1,26177x – 12,65852	0,98

[†]F1 = A + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = A + TVC al 10 % de concentración; F3 = MA:C (1:1 v:v) + TVC 2,5 % de concentración; F4 = MA:VC (1:1 v:v) + TVC 2,5 % de concentración; F5 = MA:C:VC (2:1:1 v:v) + TVC 2,5 % de concentración; [‡]y= altura.; x = días después del trasplante.

[†]F1 = S + mineral solution (control); F2 = S + VCT at 10 % of concentration; F3 = MS:C (1:1 v:v) + VCT at 2,5 % of concentration; F4 = MS:VC (1:1 v:v) + VCT at 2,5 % of concentration; F5 = MS:C:VC (2:1:1 v:v) + VCT at 2,5 % of concentration; [‡]y= height.; x = days after transplanting.

Las diferencias observadas en el rendimiento en la interacción fertilización x genotipo se debieron al número de frutos por planta y no al peso promedio del fruto. El rendimiento promedio fue de 44,8 Mg·ha⁻¹, es decir, se incrementó en un 244,6 % con respecto a lo obtenido por los productores mexicanos, bajo condiciones de riego y temporal, que de 13,0 Mg·ha⁻¹ (29). El tratamiento F5, tuvo un 22,7 % más de rendimiento que el del tratamiento testigo que tuvo un rendimiento de 60,5 Mg·ha⁻¹. En el tratamiento F2, los genotipos Centella y Euforia registraron un decremento en el rendimiento de 56,3 y 20,71 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento testigo. Por lo tanto, el TVC en arena no sustituyó el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, con la adición de C + CV a la arena y el uso de TVC al 2,5 % de concentración el genotipo Centella y Euforia presentó un incremento en el rendimiento de 32,9 y 16,4 %, respectivamente, comparado con el tratamiento testigo del mismo cultivar. El resultado señala que este tratamiento orgánico representa una opción viable para ser utilizado como fuente de nutrientes para chile jalapeño en condiciones protegidas cuando se busca disminuir ó sustituir el uso de fertilizantes convencionales. Al respecto, existen actualmente numerosos reportes que señalan la necesidad de disminuir el uso de los fertilizantes químicos, principalmente por los efectos contaminantes de éstos últimos (13, 34). Los resultados obtenidos contrastan con los obtenidos por Subler *et al.* (33), quienes mencionan que el mejor desarrollo del cultivo se da con pequeñas proporciones de VC, entre 10 y 20 %. Aunado a lo anterior, Atiyeh *et al.* (3, 4) señalan que al usar más de 20 % de compost en el sustrato, hay un decremento en el

rendimiento de la planta. Estas diferencias se pueden deber a la densidad de microorganismos, la tasa de mineralización y a las características de cada uno de los sustratos (20).

De acuerdo con datos de Inzunza-Ibarra *et al.* (15), una cosecha de chile jalapeño extrae 2.8 kg de N por tonelada de fruto en fresco. En el presente estudio se supuso una extracción similar, de modo que el cv. Centella y Euforia extrajeron el equivalente a 45,64; 62,72; 137,76; 138,88 y 136,08; 101,64; 155,96; 199,92 kg de N, respectivamente para los tratamientos F2, F3, F4 y F5 de cada cultivar. Es importante señalar que de acuerdo a la cantidad de nitrógeno en las fuentes de fertilización orgánicas (tabla 1) y al transformarlo a nitrógeno por hectárea con una tasa de mineralización del 11 %, estas fuentes de fertilización contienen el nitrógeno necesario para producir dicho rendimiento. No obstante, probablemente factores como la lixiviación (8), la volatilización, la adsorción, etc., pudieron influir para no obtener mayor rendimiento, sobre todo, cuando se adicionó 50 % de C y VC al sustrato. Es importante señalar, que el rendimiento obtenido pone de manifiesto, las altas cantidades de elementos nutritivos contenidos en el C, VC y té de VC, como lo menciona Edwards *et al.* (12). No obstante, las diferencias entre el C y VC, se deben a las características de cada uno.

Tabla 4. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de chile jalapeño, desarrollados bajo condiciones de invernadero.

Table 4. Mean values and statistical difference of the evaluated variables in jalapeño pepper cultivars, grown under greenhouse conditions.

T		PF (g)	L	DE (cm)	EP	NF	NL	R (Mg·ha ⁻¹)
Genotipos (G)								
	Centella	40,8 a [†]	8,3 a	3,5 a	0,56 b	24 b	2 a	35,0 b
	Euforia	39,9 a	8,3 a	3,4 a	0,59 a	36 a	3 a	54,6 a
Fertilización (F)								
	F1	41,6 a	8,0 b	3,4 a	0,57 b	32 b	3 a	49,3 b
	F2	35,8 b	7,9 b	3,4 a	0,56 b	24 c	3 a	32,4 c
	F3	40,1 a	8,5 a	3,4 a	0,56 b	19 c	3 a	29,3 c
	F4	41,9 a	8,5 a	3,6 a	0,60 a	33 b	2 b	52,4 ab
	F5	42,3 a	8,6 a	3,6 a	0,60 a	41 a	2 b	60,5 a
G x F								
T1	Centella x F1	40,2 abc	7,9 de	3,5 ab	0,570 cd	24 cd	3 a	37,3 c
T2	Centella x F2	37,1 cd	8,1 dc	3,3 b	0,500 e	13 e	2 ab	16,3 e
T3	Centella x F3	42,2 ab	8,3 bc	3,5 ab	0,579 bcd	15 de	3 a	22,4 de
T4	Centella x F4	41,5 ab	8,4 bc	3,6 a	0,597 abc	33 bc	2 ab	49,2 bc

T5	Centella x F5	43,2 a	8,8 a	3,7 a	0,570 cd	35 bc	2 ab	49,6 bc
T6	Euforia x F1	43,0 a	8,2 cd	3,3 b	0,583 abcd	40 ab	3 a	61,3 ab
T7	Euforia x F2	34,5 d	7,6 e	3,5 ab	0,616 ab	36 b	2 ab	48,6 bc
T8	Euforia x F3	38,1 bc	8,7 ab	3,3 b	0,546 d	25 c	3 a	36,3 cd
T9	Euforia x F4	42,4 a	8,7 ab	3,5 ab	0,601 abc	34 bc	3 a	55,7 b
T10	Euforia x F5	41,5 ab	8,4 bc	3,5 ab	0,621 a	47 a	2 ab	71,4 a
Media general		40,3	8,3	3,4	0,57	31	2,5	44,8
CV (%)		10	4	8	6	33	12	23

[†]Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales con la prueba DMS $P \leq 0,05$. F1

= arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = arena + té de VC al 10 % de concentración; F3 = mezcla de arena + C (1:1 v:v) + té de VC 2,5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + VC (1:1 v:v) + té de VC 2,5 % de concentración; F5 = mezcla de arena + C + VC (2:1:1 v:v) + té de VC 2,5 % de concentración. T = tratamiento; PF = Peso de fruto; L = Longitud; DE = Diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; NL = número de lóculos; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

[†]Means with the same letter are equals with the LSD test $P \leq 0,05$. F1 = sand + mineral solution (control); F2 = sand + VC tea at 10 % of concentration; F3 = mixture of sand + C (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F4 = mixture of sand + VC (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F5 = mixture of sand + C + VC (2:1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration. T = treatment; PF = fruit weight; L = length; DE = ecuatorial diameter; NF = fruit number; EP = pericarp thickness; NL = number of locules; R = yield; CV = coefficient of variation.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten destacar que el TVC, preparado a partir del VC, tiende a provocar efectos positivos en los indicadores de desarrollo del chile jalapeño. Por lo que el TVC, el C y el VC pueden ser considerados como fertilizantes alternativos para la producción orgánica en invernadero, por contener nutrimentos solubles que pueden abastecer la demanda nutritiva de esta especie vegetal. Los resultados obtenidos ponen en manifiesto que producir orgánicamente chile jalapeño bajo condiciones protegidas y utilizando abonos orgánicos aumenta considerablemente los rendimientos. El TVC al 10 % aplicado al sustrato arena tuvo menor rendimiento, pero cuando se combinó con C ó VC, se obtuvieron rendimientos iguales o mayores que con la solución nutritiva. Las mezclas orgánicas de A + VC + TVC y A + C + VC +

TVC no varían en rendimiento, estos tratamientos de fertilización presentaron una media de 52,4 y 60,5 Mg ha⁻¹, respectivamente, sin disminuir la calidad de fruto, por lo que pueden igualar el rendimiento e incrementar el número de frutos con respecto al testigo. Los híbridos evaluados fueron iguales en la longitud de fruto y peso promedio de fruto. Los tratamientos orgánicos en el híbrido Euforia con respecto al testigo con solución nutritiva, pueden igualar el rendimiento e incrementar el número de frutos. Finalmente, bajo las condiciones de manejo del presente trabajo, se logró satisfacer la demanda nutritiva del chile jalapeño y por lo tanto se fortalece la idea que el TVC combinado con mezcla de A + C + VC tiene potencial para desarrollar y producir chile jalapeño orgánico bajo condiciones protegidas.

BIBLIOGRAFIA

1. Arancon, N. Q.; Edwards, C. E.; Atiyeh, R. M.; Metzger, J. D. 2004. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresour. Technol.* 93: 139-144.
2. Argüello, J. A.; Ledesma, A.; Núñez, S. B.; Rodríguez, C. H.; Diaz-Goldfarb, M. D. C. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience.* 41(3): 589-592.
3. Atiyeh, R. M.; Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Metzger, J. D. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresour. Technol.* 75(3): 175-180.
4. Atiyeh, R. M.; Subler, S.; Edwards, C. A.; Bachman, G.; Metzger, J. D. 2000b. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiología* 44(6): 579-590.
5. Ayers, R. S.; Westcot, D. W. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.
6. Bansal, S.; Kapoor, K. K. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresour. Technol.* 73(2): 95-98.
7. Capulín-Grande, J.; Nuñez-Escobar, R.; Aguilar-Acuña, J. L.; Estrada-Botello, M.; Sánchez-García, P.; Mateo-Sánchez, J. J. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 13(1): 5-11.
8. Castellanos, J. Z. 2004. Manejo de la fertirrigación en suelo. P 103-123. *In: Manual de producción hortícola en invernadero.* JZ Castellanos (Ed.). Intagri. Celaya, Guanajuato, México.
9. Castellanos, J. Z.; Ojodeagua, J. L. 2009. Formulación de la solución nutritiva. P 131-156. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* JZ Castellanos (Ed.). Intagri. México.
10. Chaoui, H. I.; Zibilske, L. M.; Ohno, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry.* 35: 295-302.
11. Dodson, M.; Bachmann, J.; Williams, P. 2002. Organic Greenhouse Tomato Production. ATTRA. USDA. 16 pp.
12. Edwards, C. A.; Askar, A.; Vasko-Bennet, M.; Arancon, N. Q. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235 – 248. *In: Vermiculture Technology,* ed. C.A. Edwards, N. Arancon and R. Sherman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL.

13. Gallardo, M.; Thompson, R. B.; Rodríguez, J. S.; Fernández, M. D.; Sánchez, J. A.; Magán, J. J. 2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agric. Water Manag.* 96(12): 1733-1784.
14. Gutiérrez-Miceli, F. A.; Santiago-Borraz, J.; Montes, M. J. A.; Carlos, N. C.; Abud-Archila, M.; Oliva, M. A. L.; Rincón-Rosales, R.; Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresour Technol.* 98(15): 2781-2786.
15. Inzunza-Ibarra, M. A.; Villa-Castorena, M.; Catalán-Valencia, E. A.; Román-López, A. 2010. Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana* 28(3): 211-218.
16. Lopes-Pereira, E. W.; Borges-Azevedo, C. M. D. S.; Liberalino-Filho, J.; de Sousa-Nunes, G. H.; Erivan-Torquato, J.; Simões, B. R. 2005. Produção de vermicomposto em diferentes proporções de esterco bovino e palha de carnaúba. *CAATINGA* 18(2): 112-116.
17. Ndegwa, P. M.; Thompson, S. A.; Dass, K. C. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresour. Technol.* 71(1): 5-12.
18. Márquez, H. C.; Cano, R. P.; Rodríguez, D. N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* 34: 69-74.
19. Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P.; Chew-Madinaveitia, I.; Moreno-Reséndez, A.; Rodríguez-Dimas, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183-189.
20. Moreno, R. A.; Valdés, P. M. T.; Zarate, L. T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica* 65(1): 26-34.
21. Panikkar, A. K.; Riley, S. J.; Shrestha, S. P. 2004. Risk Management in Vermicomposting of Domestic Organic Waste. *Environ. Health* 4(2): 11-19.
22. Pant, A. P.; Radovich, T. J. K.; Hue, N. V.; Arancon, N. Q. 2011. Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on Pak Choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization.* 19(4): 279-292
23. Pant, A. P.; Radovich, T. J. K.; Hue, N. V.; Talcott, S. T.; Krenek, K. A. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. *J. Sci. Food. Agric.* 89: 2383-2392.
24. Rodríguez-Dimas, N.; Cano-Ríos, P.; Favela-Chávez, E.; Figueroa-Viramontes, U.; De Paul-Álvarez, V.; Palomo-Gil, A.; Márquez-Hernández, C.; Moreno-Reséndez, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura* 13(2): 185-192.
25. Rodríguez-Ortiz, J. C.; Loredó-Osti, C.; Alcalá-Jáuregui, J. A.; Beltrán-Sánchez, L.; Tapia-Goné, J. J.; Villar-Morales, V.; García-Hernández, J. L. 2010. Efecto de dosis y momento de aplicación de lombricomposta en la producción de cebollita cambray (*Allium cepa*). *AGROFAZ* 10(2): 99-106.
26. Santamaría-Romero, S.; Ferrera-Cerrato, R.; Almaraz-Suárez, J. J.; Galvis-Spinola, A.; Barois-Boullard, I. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35(4): 377-384.
27. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (SAGARPA-ASERCA). 2011. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en Chile. BANCOMEXT. ASERCA. PC-011-2004. 16 p. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: http://www.normich.com.mx/archivos/OC/mcs/PLIEGOS%20DE%20CONDICIONES%2012/PC_011_2004_Chile_vsj.pdf.
28. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011a. Producción de Chile verde jalapeño. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
29. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011b. Producción de Chile verde orgánico. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>

30. Statistical Analysis System (SAS). 1999. SAS User's Guide. SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.
31. Steffen, G. P. K.; Antonioli, Z. I.; Steffen, R. B.; Machado, R. G. 2010. Cascara de arroz y estiércol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s). Número Especial 2: 333:343.
32. Solís-Pacheco, J. R.; Pérez-Martínez, F.; Orozco-Ávila, I.; Flores-Montaña, J. L.; Ramírez-Romo, E.; Hernández-Rosales, A.; Aguilar-Uscanga, B. 2006. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis*. 4(1): 1-8
33. Subler, S.; Edwards, C. A.; Metzger, J. D. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39: 63-66.
34. Thompson, R. B.; Martínez, G. C.; Gallardo, M.; Giménez, C.; Fernández, M. D. 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agri. Water Manag.* 89(3): 261-274.

Artículo 2. Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Impacto del té de vermicompost sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas

Impact of vermicompost tea on saladette tomato yield and nutrient content under protected conditions

Desarrollo de tomate saladette con té de vermicompost (titulo corto)

César Márquez-Quiroz¹¹

Pedro Cano-Ríos¹²

Alejandro Moreno-Reséndez¹²

Uriel Figueroa-Viramontes¹³

Esteban Sánchez-Chávez¹⁴

Efraín De la Cruz-Lázaro¹⁵

Valentín Robledo-Torres¹⁶

¹¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL). México.

¹² Profesor-investigador del Posgrado en Ciencias Agropecuarias. UAAAN-UL. México. canorp49@hotmail.com (*Autor para correspondencia).

¹³ Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

¹⁴ Investigador del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. México.

¹⁵ Profesor-investigador de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

¹⁶ Profesor-investigador. Depto. De Horticultura UAAAN. México.

RESUMEN

Múltiples estudios han reportado el efecto del té de compost sobre la supresión de enfermedades en plantas. Sin embargo, relativamente poco se ha hecho para investigar el efecto del té de vermicompost (TVC) sobre el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas. El experimento se estableció durante 2011-2012 para evaluar los efectos del TVC sobre el rendimiento y contenido nutricional de dos cultivares de tomate saladette desarrollados en cinco sustratos. Los tratamientos fueron: S1 = arena + solución nutritiva inorgánica (testigo); S2 = arena + TVC al 10 % de concentración; S3 = mezcla de arena: C (relación 1:1; v/v) + TVC al 2.5 % de concentración; S4 = mezcla de arena: VC (relación 1:1; v/v) + TVC al 2.5 % de concentración y S5 = mezcla de arena: C: VC (relación 2:1:1; v/v) + TVC al 2.5 % de concentración. Los cinco tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar. El mayor rendimiento se presentó en las plantas desarrolladas bajo S1, superando en al menos 11.07, 28.92, 20.47 y 16.36 % a las plantas de los tratamientos orgánicos S2, S3, S4 y S5. En el tratamiento S3 se incrementó en 12.75 % el contenido de sólidos solubles con respecto al tratamiento S1. El contenido mineral en frutos desarrollados bajo S2 se incrementó para Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que los frutos de las plantas desarrolladas bajo S3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo, S1. El híbrido 'El Cid' presentó mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el híbrido 'Cuauhtemoc' presentó los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio se mostró que los tratamientos con fertilización orgánica (S2 y S5) pueden ser apropiados para la producción de tomate en invernadero.

Palabras clave • *Eisenia fétida* • fertilización orgánica • producción orgánica • invernadero •

ABSTRACT

Multiple studies have reported on the effect of compost tea on suppression of certain plant diseases. However, relatively little work has been done to investigate the effect of vermicompost tea (VCT) on growth and yield of vegetable crops. Experiment was conducted during 2011-2012 to investigate the effects of vermicompost tea on yield and nutrient content of two saladette tomato cultivars grown in five media. The treatments were: S1 = sand + inorganic nutrient solution (control); S2 = sand + VCT on

concentration of 10 %; S3 = mixture of sand: compost (ratio 1:1; v/v) + VCT on concentration of 2.5 %; S4 = mixture of sand: vermicompost (ratio 1:1; v/v) + VCT on concentration of 2.5 % y S5 = mixture of sand: compost: vermicompost (ratio 2:1:1; v/v) + VCT on concentration of 2.5 %. The five treatments were distributed in a complete-design. The plants in the control treatment (S1) showed the highest yield and increased at least 11.07, 28.92, 20.47 and 16.36 % for plants of S2, S3, S4 and S5 treatments. In our experiment, S3 treatment increased the soluble solids content compared to S1 treatment. The mineral content in fruits grown under the S2 treatment, was increased to Ca, Na, Fe, Zn, Mn and NO_3^- in 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 and 22 % respectively compared with S1 treatment. On the other hand, the P, Ca, Zn and Mn content in fruits grown under S3 treatment was increased at 16.22, 117.93, 32.68 and 23.07 % respectively compared with S1 treatment. The 'El Cid' hybrid had higher fruit weight, equatorial diameter, pericarp thickness, number of fruits per plant and yield. Whereas the 'Cuauhtémoc' hybrid showed the highest levels of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Zn in the fruit. This study showed that organic fertilization treatments, S2 and S5, may be appropriate for greenhouse tomato production.

Keywords • *Eisenia fetida* • organic production • organic fertilization • greenhouse •

INTRODUCCIÓN

El papel, los residuos de cocina, el pasto, el estiércol, los residuos de los cultivos, los abonos verdes, los biosólidos de las agroindustrias, las aguas residuales y los residuos de alimentos procesados, una vez que son adecuadamente tratados a través del proceso de composteo y/o vermicomposteo (21, 29, 44, 45), son algunas de las fuentes potenciales de elementos nutritivos de los sistemas de producción orgánica (31). De acuerdo con INFOAM (18) y Ramesh *et al.* (31) la producción orgánica es una alternativa para consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y de fertilizantes sintéticos, es decir libres de riesgo, y con un alto valor nutricional.

Hoy en día es ampliamente reconocido que el compost (C) y el vermicompost (VC) constituyen una fuente de elementos nutritivos de lenta liberación, los cuales además se encuentran en formas fácilmente disponibles para las plantas, a medida que las especies vegetales los van demandando (7). De hecho existen evidencias de que la incorporación de C y VC a los suelos y sustratos de crecimiento favorece el

desarrollo y la productividad de diversos cultivos hortícolas, tales como tomate [*Solanum lycopersicum* L.] (16), lechuga [*Lactuca sativa* L.] (44), pimiento [*Capsicum annuum* L.] (4), ajo [*Allium sativum* L.] (3), fresa [*Fragaria vesca* L.] (5), entre otras especies de interés comercial.

Por otro lado, al mezclar el C y el VC con medios inertes como la arena se mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia. También se ha establecido que tanto el C como el VC pueden satisfacer la demanda nutritiva de diversos cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (24). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales, principalmente de N (33); lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del N tanto en el C, como en el VC. Debido a lo anterior se ha sugerido que, en los sistemas de producción bajo condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición, entre las cuales se encuentre el té de vermicompost (TVC).

El TVC, solución resultante del VC en agua de la llave que contiene niveles altos de microorganismos benéficos y nutrimentos (15), ha llamado la atención de productores e investigadores en años recientes. La razón más importante para aplicar el TVC es para suministrar biomasa microbiana, partículas finas de materia orgánica y componentes químicos de VC solubles en agua que son aplicados a la capa superficial del suelo y que no podrían ser posible mediante el uso de VC sólido. Sin embargo, a la fecha existen pocas referencias acerca del efecto del TVC en el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas.

Con base en lo anterior, el objetivo específico del estudio consistió en evaluar los efectos del té de vermicompost en el rendimiento y contenido nutricional de dos cultivares de tomate saladette desarrollados en cinco sustratos bajo condiciones protegidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Torreón, Coahuila, México, localizada a una altitud de 1,139 m, 25° 05' LN y 101° 40' LO, durante el ciclo agrícola primavera-verano y otoño-invierno de 2011-2012. El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y protegido con malla sombra durante las estaciones del año más calurosos, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared

húmeda y dos extractores. Tiene ventanas laterales de 1.20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegida con malla antiáfido (Malla Plas®).

Los tratamientos fueron conformados de acuerdo a un arreglo factorial que consistió en dos cultivares de tomate saladette: Cuauhtémoc y El Cid (híbridos con crecimiento indeterminado de la compañía Harris Moran®) y cinco sustratos, evaluados en un diseño completamente al azar. La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y se tuvieron 12 macetas por tratamiento. Los sustratos evaluados fueron: S1 = arena + solución nutritiva inorgánica (testigo); S2 = arena + TVC al 10 % de concentración; S3 = mezcla de arena: C (1:1, v:v) + TVC al 2.5 % de concentración; S4 = mezcla de arena: VC (relación 1:1 v:v) + TVC al 2.5 % de concentración; y S5 = mezcla de arena: C: VC (relación 2:1:1 v:v) + TVC al 2.5 % de concentración.

La siembra se realizó el 6 de marzo y 2 de octubre de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades rellenas con Peat Moss (Premier®). El trasplante se efectuó el 9 de abril y 7 de noviembre de 2011, colocando una planta por contenedor. Estos consistieron en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, llenadas con base en el volumen. La densidad de población fue de 4 plantas m⁻². La arena utilizada en los sustratos fue previamente desinfectada con una solución de NaClO al 5 %.

El vermicompost se elaboró a base de estiércol y se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la UAAAN-UL. En este módulo se utilizaron estiércoles de caballo y de cabra con paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.), mezclados en una relación 1:1, en volumen, y lombrices *Eisenia fetida* (6) durante un periodo de 90 días (10). El compost fue comercial (MaxCompost®). Las características nutrimentales de los sustratos se presentan en la tabla 1. La solución nutritiva empleada en tratamiento S1 (Tabla 2) fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (12).

Para preparar el TVC al 10 % de concentración se aplicó el método recomendado por Edwards *et al.* (15), con una variación consistente en que la bolsa con VC se introdujo en un recipiente con 20 L de agua durante 5 min para lavar el exceso de sales, antes de someterse a oxigenación. En un contenedor de 60 L de capacidad se oxigenaron 45 L de agua con una bomba de aire (Biopro: BP9891. Tiray Technology Co Ltd®) 2 h antes de introducir la bolsa con 4.5 kg de VC; la oxigenación se realizó de manera continua hasta la conclusión del proceso (24 h). Además, se agregaron 40 g de piloncillo o panela, producto

elaborado a partir de jugo de caña (*Saccharum officinarum* L.), sin refinar (41), como fuente de energía para promover el crecimiento y desarrollo de los microorganismos.

La aplicación del TVC fue constante durante todo el ciclo, y para preservar su calidad éste se mantuvo aireado durante las 24 h; para el tratamiento S2, se aplicaron 0.5 L de TVC al 10 % de concentración para cada maceta, mientras que para los tratamientos S3, S4 y S5, el TVC se diluyó a una proporción de 1:3 utilizando 1 L de TVC por cada 3 L de agua potable para tener una concentración al 2.5 %. De esta dilución se aplicó 1 L por maceta. El pH del TVC fue ajustado a un valor de 5.5 con ácido cítrico ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) grado alimenticio, aplicado a una concentración 5 mM (1.2 g L^{-1}) (11). Para satisfacer la demanda hídrica del cultivo se utilizó un sistema de riego por goteo en todos los tratamientos y la cantidad de agua aplicada, según la etapa fenológica del cultivo, osciló de 0.35 a 1.9 L planta⁻¹ día⁻¹. Ésta se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C_1S_1 , con una relación de absorción de sodio de 2.18) (9); presentó una CE de 1.05 dS m^{-1} , un pH de 7.8; y la concentraciones de cationes con valores de: $Ca^{2+} = 3.51$, $Mg^{2+} = 0.48$, $K^+ = 0.22$, $Na^+ = 2.71 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ y de aniones de: $HCO_3^- = 3.12$, $Cl^- = 2.3$, y $SO_4^{2-} = 2.62 \text{ mmol L}^{-1}$. Durante el ciclo de cultivo, que duró 144 y 132 días después del trasplante (ddt), la temperatura mínima y máxima dentro del invernadero fluctuó entre 17.4 y 36.9 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 20 y 79 %, respectivamente.

El cuidado y manejo de las plantas consistió en aplicar tutores colocando rafia horizontal para guiar a un solo tallo y en el uso de insumos: Biodie® (Tricarboxilos vegetales) y Protek® (derivados de ácidos de la extracción de aceites vegetales), aprobados por la normatividad de la IFOAM (18). Se aplicó vía foliar microelementos (Poliquel Multi®. Arysta LifeScience), a una dosis de 2 L ha^{-1} . Diariamente entre las 11:00 y 13:00 h, se estimuló mecánicamente la polinización con un vibrador eléctrico. La cosecha de frutos se hizo del primero al octavo racimo y del primero al quinto racimo para el ciclo primavera-verano y otoño-invierno respectivamente.

Las variables evaluadas fueron: espesor de pericarpio, número de lóculos en el fruto, número de frutos por planta, tamaño de frutos (diámetro polar y ecuatorial de fruto), peso promedio de fruto, espesor de pericarpio, índice refractométrico, rendimiento y el contenido mineral y contenido de nitratos en frutos.

Parámetros hortícolas

Se realizaron 17 cortes, en 12 plantas de cada tratamiento para determinar el número de frutos por planta. El tamaño y el peso promedio de fruto se determinó tomando como muestra 10 frutos por planta. El rendimiento se determinó con el peso del número total de frutos obtenidos en los cortes, utilizando una báscula Ohaus modelo 3729 con capacidad máxima de 3,000 gramos y resolución de 0.1 gramos. Parte de la fruta cosechada en cada corte fue macerada en fresco, en dicha pulpa molida se determinó el índice refractométrico en grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) con un refractómetro manual de 0 a 32 % (Atago[®] modelo ATC1E).

Propiedades químicas del fruto

El contenido de minerales se determinó como sigue: El nitrógeno (N) fue determinado con el método de Kjeldahl (2). La determinación de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn) se realizó por el método de la mezcla tri-ácida y por el método de espectrofotometría de absorción atómica (19, 2), mientras que la determinación de Fósforo (P) se determinó con el método de metavanadato molibdato de amonio y colorimetría (1). Por otra parte la determinación del contenido de nitratos en fruto se llevó a cabo por la metodología propuesta por Keeney y Nelson (20).

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza y en su caso la prueba de comparación se medias DMS con un nivel de confiabilidad de 95 % ($\alpha = 0.05$), mediante el paquete estadístico SAS 9.1 (42).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido mineral del C y VC se muestra en la tabla 1. En el presente trabajo experimental el contenido de macronutrientes fue mayor el C, sin embargo en VC el contenido de micronutrientes fue al menos 1.1 veces mayor que lo obtenido por C.

Número de frutos por planta

Los efectos del uso de sustratos en el número de frutos por planta se muestran en el tabla 3. Se observó que las plantas desarrolladas bajo los sustratos F2, F3, F4 y F5 mostraron un decremento

significativo ($P < 0.05$) en frutos por planta, con disminuciones del 16.07, 16.07, 12.50 y 8.92 %, respectivamente. A menudo se observa una reducción de 11.11 a 76.36 % en el número de frutos cuando se utilizan mezclas de arena con sustratos orgánicos (27, 28). Resultados similares han sido reportados por Rodríguez-Dimas *et al.* (34) quienes obtuvieron un decremento de 22.91 y 31.25 % en el número de frutos de dos híbridos de tomate bola al usar mezclas de arena: VC.

Peso promedio y tamaño de fruto

El uso de TVC incremento en 11.06 % el peso promedio de fruto de las plantas desarrolladas bajo S2 en comparación con el testigo. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez-Dimas *et al.*, (33), quienes reportaron un incremento de 15.37 % en el peso de fruto de tomate desarrollado bajo arena + TVC en comparación con el testigo desarrollado en arena + fertilizantes inorgánicos. Por otra parte, el peso de fruto promedio obtenido en plantas desarrolladas bajo S3, S4 y S5 se decremento en 15.20, 5.71 y 7.20 % con respecto al peso obtenido en el testigo. Con frecuencia se observa en tomate una reducción de 19.15 y 35.71% en el peso de frutos cuando se usa mezclas (1:1) de arena: VC y arena: C respectivamente (24, 34).

Lo encontrado en este estudio resulta interesante, considerando que el peso y tamaño de fruto se afectó debido al uso de TVC (Tabla 3). El hecho de no haberse reducido el tamaño y peso de los frutos en las plantas desarrolladas bajo S2, representa un importante valor agregado en el producto cosechado. Este resultado se podría explicar con experiencias de otros autores como lo reportado por Arancon *et al.* (5), ellos encontraron que con la aplicación de vermicompost a un campo de fresa aumentó significativamente el contenido de citocininas en el suelo, las cuales junto con las auxinas presentes en semillas inmaduras de frutos jóvenes, influyen en la regulación de la división y alargamiento celular, y por lo tanto inductores del crecimiento y peso del fruto, como lo mencionan Raven *et al.* (32). En relación a lo anterior, Coletto (13) menciona que después de la división celular inicia la acumulación de los fotoasimilados y con ello el crecimiento y peso de fruto. Por lo tanto, es probable que la fertilización orgánica al reducir la demanda de asimilados y otras hormonas en tejidos de crecimiento apical, favoreciera el contenido de citocininas y la acumulación de fotoasimilados en fruto, evitando con esto reducción de peso y tamaño en ellos a pesar de un mayor número por planta como resultado de la

aplicación del TVC. Por otra parte, de acuerdo al pliego de condiciones para el uso de la marca oficial “México Calidad Suprema” en tomate (35), el tamaño de fruto mediano corresponde a un diámetro entre 4.9 y 5.9 cm, por lo que las plantas desarrolladas bajo los sustratos S1, S2, S4 y S5 obtuvieron frutos que caen en esta categoría.

Índice refractométrico

El contenido de sólidos solubles, de los frutos cosechados en plantas desarrolladas bajo S3, se incrementó en 12.61 % con respecto a los frutos cosechados en el testigo. Por otra parte, el menor contenido de sólidos solubles se registró en los frutos cosechados en el S2, con un decremento de 0.95 % en comparación con el testigo. En consecuencia, se confirma que el uso de TVC y sustratos orgánicos generaron frutos de mejor calidad en cuanto a contenido de sólidos solubles, ya que el tomate para consumo en fresco debe de contener más de 4.0 °Bx (36). Sin embargo, Díez (14) mencionó que el tomate, para procesado o consumo en fresco, debe de contar con un contenido de sólidos solubles de al menos 4.5 °Bx. De acuerdo a lo anterior, todos los sustratos produjeron tomates con más de 4 °Bx, por lo cual son adecuados para consumo en fresco, mientras que para la industria, solo el sustrato S3 alcanzó los 4.5 °Bx requeridos.

Rendimiento

Las plantas del testigo presentaron mayor producción, superando en un 11.07, 28.92, 20.46 y 16.36 % a las plantas de los sustratos S2, S3, S4 y S5 respectivamente (tabla 3). Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos no están permitidos en la normativa para la producción orgánica, además de incrementar los costos de producción, por lo que los resultados observados en el presente estudio se sugieren como adecuados para probarse en trabajos posteriores. El mayor rendimiento del testigo, con respecto a los sustratos evaluados fue referido por Rodríguez-Dimas *et al.* (34) y Márquez *et al.* (25), quienes encontraron mayor rendimiento en los sistemas de producción inorgánica. Al respecto, Stanhill (43) menciona que en la agricultura orgánica el rendimiento se reduce entre 10 y 30 % respecto a la agricultura convencional. No obstante la disminución en el rendimiento observada en el presente trabajo

puede ser compensada por el sobreprecio que tiene el tomate orgánico, que es de 5.84 veces el precio del tomate obtenido con el manejo convencional (37).

El Cv. El Cid presentó 1.0031 veces mayor rendimiento en comparación con el cv. Cuauhtémoc. Por otra parte la mejor combinación se logró con el S1 y el cv. Cuauhtémoc, con $208.45 \text{ Mg ha}^{-1}$, y la peor el S3 y el cv. El Cid, con rendimiento de $130.96 \text{ Mg ha}^{-1}$. Los resultados obtenidos concordaron con lo establecido por Atiyeh *et al.* (5, 6), quienes recalcaron que los sustratos orgánicos beneficiaron el desarrollo de los cultivos en invernadero, y que las diferencias detectadas en las variables evaluadas se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos y el incremento de sus comunidades microbianas (5).

Contenido nutricional

Se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el contenido mineral de los frutos desarrollados bajo los distintos sustratos (Tabla 4). El contenido mineral en frutos desarrollados bajo S2 se incremento para Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que los frutos de las plantas desarrolladas bajo S3 se incremento el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo. El flujo de minerales en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma (17). Es posible que al usar sustratos orgánicos se modifique el patrón de traslocación de minerales y estos sean enviados en mayor proporción hacia los frutos en desarrollo y su distribución no sea más equitativa entre ellos; reflejándose esto en lo observado de afectarse adversamente el contenido y los niveles de los mismos (30). La deficiencia de minerales, se refleja principalmente en frutos, se induce desordenes fisiológicos que se traducen en bajas en el rendimiento, tamaño, peso, color, forma, sabor y calidad nutritiva en fruto (22, 23), lo que demuestra la gran importancia de no afectar los niveles en el contenido mineral; a pesar de que son diversos los factores que pudieran influenciar en la absorción, movilidad y asimilación de los elementos minerales en la planta (40).

CONCLUSIONES

Las plantas del tratamiento testigo (arena + fertilizante inorgánico) presentaron mayor rendimiento, superando en al menos 11.07, 28.92, 20.47 y 16.36 % a las plantas de los tratamientos orgánicos S2 (arena + té de TVC al 10 % de concentración), S3 (mezcla de arena: C + TVC al 2.5 % de concentración), S4 (mezcla de arena: VC + TVC al 2.5 % de concentración) y S5 (mezcla de arena: C: VC + TVC). En el tratamiento S3 se incrementó en 12.75 % el contenido de sólidos solubles con respecto al tratamiento S1. En plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S2 se incrementó el contenido de Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que las plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16.22, 117.93, 32.68 y 23.07 % respectivamente, comparadas con el testigo, S1. El híbrido 'El Cid' presentó mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el híbrido 'Cauhtemoc' presentó los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio se mostró que los tratamientos con fertilización orgánica (S2 y S5) pueden ser apropiados para la producción de tomate en invernadero.

BIBLIOGRAFIA

1. Alcántar, G. G., y V. M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico del tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C. Chapingo, México. pp 156.
2. Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis (AOAC). 1980. Washington, D.C. USA.
3. Argüello, J. A.; Ledesma, A.; Núñez, S. B.; Rodríguez, C. H.; Diaz-Goldfarb, M. D. C. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience*. 41(3): 589-592.
4. Arancon, N. Q.; Edwards, C. E.; Atiyeh, R. M.; Metzger, J. D. 2004a. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresour. Technol.* 93: 139-144.
5. Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Bierman, P.; Welch, C.; Metzger, J. D. 2004b. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. effects on growth and yields. *Bioresour. Technol.* 93: 145-153.
6. Atiyeh, R. M., N. Arancon, C. A. Edwards., J. D. Metzger. 2000a. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresour. Technol.* 75:175-180.
7. Atiyeh, R. M., C. A. Edwards., S. Subler., J. D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.* 78, 11-20.
8. Atiyeh R M, S Subler, C A Edwards, G Bachman, J D Metzger. 2000b. Effects of vermicompost and compost on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44:579-590.
9. Ayers R. S y D. W. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.

10. Bansal, S. y K. K. Kapoor. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresour. Technol.* 73: 95-98.
11. Capulín-Grande J., R. Nuñez-Escobar., J. L. Aguilar-Acuña., M. Estrada-Botello., P. Sánchez-García., J. J. Mateo-Sánchez. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimienta morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 13(1): 5-11.
12. Castellanos J. Z y J. L. Ojodeagua. 2009. Formulación de la solución nutritiva. P 131-156. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* J Z Castellanos (Ed.). Intagri. México.
13. Coletto, J. M. 1995. Crecimiento y Desarrollo de las Especies Frutales. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 168 p.
14. Diez N.M. 2001. Tipos varietales. P 93-129. *In: El cultivo del tomate.* F Nuez, (Ed.). Madrid, España.
15. Edwards C. A., Askar A., Vasko-Bennet M., Arancon N. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235-248. *In: Vermiculture Technology,* C A. Edwards, N Arancon and R Sherman. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. <http://dx.doi.org/10.1201/b10453-16>
16. Gutiérrez-Miceli, F. A.; Santiago-Borraz, J.; Montes, M. J. A.; Carlos, N. C.; Abud-Archila, M.; Oliva, M. A. L.; Rincón-Rosales, R.; Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresour Technol.* 98(15): 2781-2786.
17. Gutiérrez, M. V. 1997. Nutrición mineral de las plantas: avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense* 21(1): 127-137.
18. International Federation of Organic Agriculture Movements (INFOAM). 2003. Normas para la producción y procesado orgánico. Victoria, Canadá. 158 p.
19. Jones B. R. J. R., Wolf B., Mills H. A. 1991. Plant analysis handbook micro-macro. Publishing Inc. Athens, Georgia, USA. pp 213.
20. Keeney, D. R., y D. W. Nelson. 1982. Nitrogen – Inorganic forms. pp. 643-698. *En: Page, A. L. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. 2ed. Agron. Monogr. 9. AsA and SSSA. Madison Wi.*
21. Lim, S. L., T. Y. Wu., E. Y. S. Sim., P. N. Lim., C. Clarke. 2012. Biotransformation of rice husk into organic fertilizer through vermicomposting. *Ecological Engineering.* 41: 60-64.
22. Mancera, M. M.; Soto J. M.; Sánchez, E.; Yañez, R. M.; Montes, F.; Balandran, R. R. 2007. Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. *Tecnociencia Chihuahua* 1(2): 6-17.
23. Martínez, F. E.; Sarmiento, J.; Fischer, G.; Jiménez, F. 2008. Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26(3): 389-398.
24. Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos., Y. J. Chew-Madinaveitia., A. Moreno-Reséndez., N. Rodríguez-Dimas. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(12): 183-189.
25. Márquez H. C., P. Cano., N. Rodríguez., A. Moreno., E. De La Cruz., J. L. García., P. Preciado., G. Castañeda., C. García. 2009. Producción en invernadero de tomate orgánico. *In: I Simposio de Producción Moderna de Melón y Tomate. XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas.* Torreón Coahuila. México. p.1-24.
26. Moreno-Reséndez A, L Gómez-Fuentes, P Cano-Ríos, V Martínez-Cueto, J L Reyes-Carrillo, J L Puente-Manríquez y N Rodríguez-Dimas. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero. *Rev. Terra Latinoamericana.* 26(2): 103-109.
27. Moreno R. A., López A. F. J., Figueroa V. U., Rodríguez D. N., Vásquez A. J., Reyes C. J. L. Cano. R. P., Reyes V. M. H. 2012. Tomato production in sand: vermicompost mixtures compared with sand and nutritive solution. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review.* 1(1): 19-26.
28. Moreno-Reséndez A, Valdes-Perezgasga MT, Zarate-Lopez T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agri. Tec. Chile* 65: 26-34.
29. Negi, R., y S. Suthar. 2013. Vermistabilization of paper mill wastewater sludge using *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology.* 128: 193-198.
30. Rademacher, W. 2004. Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 29-32.
31. Ramesh, P., M. Singh., A. S. Rao. 2005. Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Sci.* 88(4): 561-568.

32. Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. 1992. Biología de las plantas. Volumen 2. Traducido al español por Santamaría, R.; Lloret, F.; Mas, M.; Cardona, M. A. Editorial Reverté. Barcelona, España. 773 p.
33. Rodríguez-Dimas, N.; Cano-Ríos, P.; Favela-Chávez, E.; Figueroa-Viramontes, U.; De Paul-Álvarez, V.; Palomo-Gil, A.; Márquez-Hernández, C.; Moreno-Reséndez, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura* 13(2): 185-192.
34. Rodríguez-Dimas N, Cano-Ríos P, Figueroa-Viramontes U, Palomo-Gil A, Favela-Chávez E, Álvarez-Reyna VP, Márquez-Hernández C, Moreno-Reséndez A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec.Mex.* 31: 265-272.
35. SAGARPA-ASERCA. 2011. Pliego de condiciones para uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate. BANCOMEX ASERCA. PC-020-2005. Consultado en [http://www.normich.com.mx/pdf\(PC_020_2005_Tomate.pdf](http://www.normich.com.mx/pdf(PC_020_2005_Tomate.pdf) 22 pag.
36. Santiago J, Mendoza M, Borrego F (1998) Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 9(1): 59-65.
37. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2005. Producción de jitomate rojo orgánico. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
38. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011a. Producción de jitomate rojo. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
39. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011b. Producción de jitomate rojo bajo invernadero. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
40. Shaviv, A.; Mikkelsen, R. L. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-a review. *Fertilizer Research* 35(1-2): 1-12.
41. Solís-Pacheco, J. R., F. Pérez-Martínez, I. Orozco-Ávila, J. L. Flores-Montaño, E. Ramírez-Romo, A. Hernández-Rosales y B. Aguilar-Uscanga. 2006. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis*. 4(1): 1-8
42. Statistical Analysis System (SAS). 2004. What's New in SAS 9.0, 9.1, 9.1.2 and 9.1.3. SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.
43. Stanhill G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30: 1-26.
44. Steffen, G. P. K.; Antonioli, Z. I.; Steffen, R. B.; Machado, R. G. 2010. Cascara de arroz y estiércol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s). Número Especial 2: 333-343.
44. Valdez-Pérez, M. A., F. Fernández-Luqueño., O. Franco-Hernandez., L. B. Flores., L. Dendooven. 2011. Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. *Scientia Horticulturae*. 128: 380-387.
45. Warman, P. R., y M. J. AngLopez. 2011. Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth médium. *Bioresource Technology*. 101: 4479-4483.

Tabla 1. Análisis químico del compost, vermicompost y té de vermicompost.**Table 1.** Chemical analysis of compost, vermicompost and vermicompost tea.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(%)						(mg kg ⁻¹)				(dS m ⁻¹)
C	2.41	1.19	3.36	8.76	0.94	0.57	5920	260	160	8.5	6.7
VC	1.27	0.15	0.88	6.92	0.6	0.1	7090	330	210	7.9	2.4
TVC	0.83	0.49	0.71	3.23	0.75	0.2	2.4	0.5	1.58	8.0	2.0

[†]C = compost; VC = vermicompost; A = arena; TVC = té de VC al 10 % de concentración; ND = no detectado.

[†]C = compost; VC = vermicompost; A = sand; TVC = VC tea at 10 % of concentration; ND = not detected.

Tabla 2. Concentración de la solución nutritiva empleada para el desarrollo de tomate en invernadero.**Table 2.** Concentration of the nutrient solution used to grow tomato under greenhouse.

Ion	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
	1 ^{er} Cuaje	1 ^{er} - 3 ^{er} Cuaje	3 ^o - 5 ^o Cuaje	> 5 ^o Cuaje
mmol L ⁻¹				
NO ₃ ⁻	6	8	10	12
NH ₄ ⁺	0-0.5	0-0.5	0.05	0.5
H ₂ PO ₄ ⁻	1.5	1.5	1.5	1.5
K ⁺	3.5	5.5	7	8.5
Ca ²⁺	4	4	4	4.5
Mg ²⁺	1	1.5	2	2
SO ₄ ²⁻	1.5 a 3	1.5 a 3	1.5 a 3	1.5 a 4
HCO ₃ ⁻	1	1	1	1
Na ⁺	<5	<5	<5	<5
Cl ⁻	1 a 3	1 a 3	3 a 5	3 a 5
CE	1.4	1.8	2.2	2.4

[†]CE = conductividad eléctrica.

[†]CE = electrical conductivity.

Tabla 3. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de tomate saladette, desarrollados bajo condiciones de invernadero.

Table 3. Mean values and statistical difference of the evaluated variables in saladette tomato cultivars, grown under greenhouse conditions.

T ^z	Genotipos (G)	PF	DP	DE	EP	NF	IR	R
		(g)	(cm)	(cm)	(cm)		(°Bx)	(Mg ha ⁻¹)
	Cuauhtémoc	81.74 b ^y	6.09 a	4.91 b	0.73 b	49 b	4.40 a	166.78 b
	El Cid	88.52 a	6.03 b	5.11 a	0.76 a	51 a	4.37 b	167.31 a
	Sustrato (S)							
	S1	88.60 b	6.06 c	5.13 a	0.76 a	56 a	4.20 d	197.37 a
	S2	96.18 a	6.13 b	5.13 a	0.74 c	47 d	4.16 e	175.52 b
	S3	75.13 e	5.96 d	4.82 d	0.75 b	47 d	4.73 a	140.29 e
	S4	83.54 c	6.24 a	5.04 b	0.75 b	49 c	4.46 b	156.98 d
	S5	82.22 d	5.92 e	4.94 c	0.74 c	51 b	4.38 c	165.08 c
	G x S							
T1	Cuauhtémoc x S1	80.28 g	5.97 f	5.01 e	0.74 d	62 a	4.23 g	208.45 a
T2	Cuauhtémoc x S2	93.75 c	6.20 b	5.05 d	0.74 d	46 h	4.14 j	166.32 f
T3	Cuauhtémoc x S3	75.08 j	5.97 f	4.74 i	0.73 e	50 e	4.72 b	149.61 h
T4	Cuauhtémoc x S4	79.16 h	6.38 a	4.86 h	0.72 f	45 i	4.54 c	142.29 i
T5	Cuauhtémoc x S5	80.43 f	5.92 h	4.89 g	0.73 e	52 c	4.35 f	167.22 e
T6	El Cid x S1	96.92 b	6.15 c	5.25 a	0.77 b	49 f	4.16 i	186.29 b
T7	El Cid x S2	98.60 a	6.05 e	5.21 c	0.73 e	48 g	4.18 h	184.71 c
T8	El Cid x S3	75.18 i	5.95 g	4.89 g	0.76 c	44 j	4.74 a	130.96 j
T9	El Cid x S4	87.92 d	6.10 d	5.22 b	0.78 a	53 b	4.38 e	171.66 d
T10	El Cid x S5	84.00 e	5.91 i	4.98 f	0.74 d	50 d	4.41 d	162.93 g
	Media general	85.13	6.06	5.01	0.74	50	5.39	167.05
	CV (%)	9	5	6	13	17	12	18

^zT = tratamiento; ^yValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de DMS con $P \leq 0.05$. S1 = arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); S2 = arena + té de vermicompost al 10 %; S3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; S4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; S5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost diluido. PF = peso de fruto; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; IR = índice refractométrico; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

^zT = treatment; ^yMeans with the same letter are equals with the LSD test $P \leq 0.05$. F1 = sand + mineral solution (control); F2 = sand + VC tea at 10 % of concentration; F3 = mixture of sand + C (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F4 = mixture of sand + VC (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F5 = mixture of sand + C + VC (2:1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration. PF = fruit weight; DP = polar diameter; DE = ecuatorial diameter; NF = fruit number; EP = pericarp thickness; IR = refractometric index; R = yield; CV = coefficient of variation.

Tabla 4. Contenido nutricional de tomate orgánico y convencional. Torreón, Coahuila. 2011.**Table 4.** Mineral content of organic and conventional tomato. Torreón, Coahuila. 2011

T ^z		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	N-NO ₃ ⁻
		%						mg kg ⁻¹			
Genotipo (G)											
	Cuauhtémoc	1.70 a [†]	0.444 a	4.252 a	0.384 a	0.190 a	0.100 b	54.8 a	19.2 a	10.8 b	4.2 a
	El Cid	1.67 b	0.392 b	4.142 b	0.194 b	0.172 b	0.110 a	50.8 b	16.8 b	11.6 a	4.1 a
Sustrato (S)											
	S1	1.673 c	0.413 c	4.567 a	0.223 d	0.196 a	0.123 b	53.0 c	15.3 e	13 c	5.0 b
	S2	1.670 d	0.413 c	4.323 b	0.466 b	0.150 d	0.126 a	56.6 b	18.3 b	14 b	6.1 a
	S3	1.673 c	0.480 a	4.300 c	0.486 a	0.166 c	0.106 c	45.3 d	20.3 a	16 a	3.6 c
	S4	1.690 b	0.366 d	3.873 d	0.236 c	0.196 a	0.123 b	60.0 a	16.6 c	6 e	3.1 c
	S5	1.703 a	0.430 b	3.833 e	0.170 d	0.183 b	0.073 d	41.6 e	16.3 d	8 d	3.1 c
G x S											
T1	Cuauhtémoc x S1	1.68 c	0.42 g	5.22 a	0.21c	0.20 b	0.12 c	54.0 d	17.0 e	16.0 b	4.9 d
T2	Cuauhtémoc x S2	1.71 a	0.52 a	3.79 k	1.10 a	0.19 c	0.10 d	50.0 f	23.0 a	12.0 e	5.6 b
T3	Cuauhtémoc x S3	1.71 a	0.48 c	4.13 h	0.20 e	0.18 d	0.08 e	52.0 e	21.0 b	15.0 c	3.3 g
T4	Cuauhtémoc x S4	1.71 a	0.37 i	3.88 i	0.22 c	0.20 b	0.12 c	81.0 a	17.0 e	7.0 g	3.6 f
T5	Cuauhtémoc x S5	1.71 a	0.43 f	4.24 f	0.19 f	0.18 d	0.08 e	37.0 j	18.0 d	4.0 j	3.3 g
T6	El Cid x S1	1.65 f	0.43 f	4.22 g	0.28 b	0.17 e	0.12 c	50.0 f	15.0 g	13.0 d	6.6 a
T7	El Cid x S2	1.65 f	0.36 j	4.59 b	0.15 j	0.13 f	0.14 a	60.0 b	16.0 f	15.0 c	5.1 c
T8	El Cid x S3	1.66 e	0.46 d	4.43 c	0.16 i	0.19 c	0.10 d	50.0 f	19.0 c	12.0 e	3.9 e
T9	El Cid x S4	1.67 d	0.29 k	3.87 j	0.21 d	0.17 e	0.12 c	49.0 g	16.0 f	5.0 i	2.6 i
T10	El Cid x S5	1.69 b	0.42 g	3.60 l	0.17 h	0.20 b	0.07 f	45.0 h	18.0 d	13.0 d	3.0 h
Media general		1.68	0.42	4.18	0.32	0.18	0.11	51.33	17.4	11.4	4.19
CV (%)		5	5	7	7	7	5	5	5	5	8

[†]Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales con la prueba DMS $P \leq 0.05$; ND = no detectado; S1 = testigo mineral; S2 = testigo orgánico; S3 = mezcla de arena + C + TVC 2.5 % de concentración; S4 = mezcla de arena + VC + TVC 2.5 % de concentración; S5 = mezcla de arena + C + VC + TVC 2.5 % de concentración.

[†]Means with the same letter are equals with the LSD test $P \leq 0.05$. F1 = sand + mineral solution (control); F2 = sand + VC tea at 10 % of concentration; F3 = mixture of sand + C (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F4 = mixture of sand + VC (1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration; F5 = mixture of sand + C + VC (2:1:1 v:v) + VC tea at 2,5 % of concentration

Artículo 3. Artículo enviado a la Revista ITEA. Fertilización orgánica: alternativa para incrementar el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas

Organic fertilization: alternative to increase yield and nutrient content on saladette tomato under protected conditions

C. Márquez-Quiroz¹, P. Cano-Ríos^{2,****}, A. Moreno-Reséndez², U. Figueroa-Viramontes³, E. Sánchez-Chávez⁴, E. De la Cruz-Lázaro⁵ y V. Robledo-Torres⁶

¹ Candidato a Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL). México.

² Profesor-investigador del Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria. UAAAN-UL. México.

³ Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

⁴ Investigador del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. México.

⁵ Profesor-investigador de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

⁶ Profesor-investigador. Depto. De Horticultura UAAAN. México.

**** Autor para correspondencia: canorp49@hotmail.com

Resumen

El experimento se estableció durante 2011-2012 para evaluar los efectos de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de dos cultivares de tomate saladette desarrollados en cinco sustratos: S1 = arena + solución nutritiva inorgánica; S2 = arena + té de vermicompost; S3 = mezcla de arena: C (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost; S4 = mezcla de arena: VC (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost y S5 = mezcla de arena: C: VC (relación 2:1:1; v/v) + té de vermicompost. El mayor rendimiento se presentó en las plantas desarrolladas bajo S1, superando en al menos 11,07, 28,92, 20,47 y 16,36 % a las plantas desarrolladas bajo S2, S3, S4 y S5 respectivamente. El contenido mineral en frutos desarrollados bajo S2 se incrementó para Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108,96, 2,43, 6,79, 19,60, 7,69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que los frutos de las plantas desarrolladas bajo S3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16,22, 117,93, 32,68 y 23,07 % respectivamente, comparadas con S1. El híbrido 'El Cid' presentó mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el híbrido 'Cuauhtemoc' presentó los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio, S2 y S5 fueron apropiados para la producción de tomate en invernadero.

Palabras clave: *Eisenia fétida*, vermicompost, compost, producción orgánica, invernadero.

Summary

The experiment was conducted during 2011-2012 to investigate the effects of organic fertilization on yield and nutrient content of two saladette tomato cultivars grown in five media: S1 = sand + inorganic nutrient solution; S2 = sand + vermicompost tea; S3 = mixture of sand: compost (ratio 1:1; v/v) + vermicompost tea; S4 = mixture of sand: vermicompost (ratio 1:1; v/v) + vermicompost tea and S5 = mixture of sand: compost: vermicompost (ratio 2:1:1; v/v) + vermicompost tea. The plants in S1 showed the highest yield and increased at least 11.07, 28.92, 20.47 and 16.36 % for plants of S2, S3, S4 and S5 treatments. In our experiment, the mineral content in fruits grown under the S2 was

increased to Ca, Na, Fe, Zn, Mn and NO_3^- in 108.96, 2.43, 6.79, 19.60, 7.69 and 22 % respectively compared with S1. On the other hand, the P, Ca, Zn and Mn content in fruits grown under S3 was increased at 16.22, 117.93, 32.68 and 23.07 % respectively compared with S1. The 'El Cid' hybrid had higher fruit weight, equatorial diameter, pericarp thickness, number of fruits per plant and yield. Whereas the 'Cuauhtémoc' hybrid showed the highest levels of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Zn in the fruit. This study, S2 and S5, may be appropriate for greenhouse tomato production.

Keywords: *Eisenia fetida*, vermicompost, compost, organic production, greenhouse.

Introducción

El papel, los residuos de cocina, el pasto, el estiércol, los residuos de los cultivos, los abonos verdes, los biosólidos de las agroindustrias, las aguas residuales y los residuos de alimentos procesados, una vez que son adecuadamente tratados a través del proceso de composteo y/o vermicomposteo (Lim *et al.*, 2012; Negi y Suthar, 2013; Valdez-Pérez *et al.*, 2011; Warman y AngLopez, 2011), son algunas de las fuentes potenciales de elementos nutritivos de los sistemas de producción orgánica (Ramesh *et al.*, 2005). De acuerdo con INFOAM (2005) y Ramesh *et al.* (2005) la producción orgánica es una alternativa para consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y de fertilizantes sintéticos, es decir libres de riesgo, y con un alto valor nutricional.

Hoy en día es ampliamente reconocido que el compost (C) y el vermicompost (VC) constituyen una fuente de elementos nutritivos de lenta liberación, los cuales además se encuentran en formas fácilmente disponibles para las plantas, a medida que las especies vegetales los van demandando (Atiyeh *et al.*, 2001). De hecho existen evidencias de que la incorporación de C y VC a los suelos y sustratos de crecimiento favorece el desarrollo y la productividad de diversos cultivos hortícolas, tales como tomate [*Solanum lycopersicum* L.] (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007), lechuga [*Lactuca sativa*

L.] (Steffen *et al.*, 2010), pimiento [*Capsicum annuum* L.] (Arancon *et al.*, 2004a), ajo [*Allium sativum* L.] (Argüello *et al.*, 2006), fresa [*Fragaria vesca* L.] (Arancon *et al.*, 2004b), entre otras especies de interés comercial.

Por otro lado, al mezclar el C y el VC con medios inertes como la arena se mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia. También se ha establecido que tanto el C como el VC pueden satisfacer la demanda nutritiva de diversos cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales, principalmente de N (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007); lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del N tanto en el C, como en el VC. Debido a lo anterior se ha sugerido que, en los sistemas de producción bajo condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición, entre las cuales se encuentre el té de vermicompost (TVC).

El TVC, solución resultante del VC en agua de la llave que contiene niveles altos de microorganismos benéficos y nutrimentos (Edwards *et al.*, 2010), ha llamado la atención de productores e investigadores en años recientes. La razón más importante para aplicar el TVC es para suministrar biomasa microbiana, partículas finas de materia orgánica y componentes químicos de VC solubles en agua que son aplicados a la capa superficial del suelo y que no podrían ser posible mediante el uso de VC sólido. Sin embargo, a la fecha existen pocas referencias acerca del efecto del TVC en el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas.

Con base en lo anterior, el objetivo específico del estudio consistió en evaluar los efectos de la fertilización orgánica en el rendimiento y contenido nutricional de dos cultivares de tomate saladette desarrollados en cinco sustratos bajo condiciones protegidas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Torreón, Coahuila, México, localizada a una altitud de 1139 m, 25° 05' LN y 101° 40' LO, durante el ciclo agrícola primavera-verano y otoño-invierno de 2011-2012. El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y protegido con malla sombra durante las estaciones del año más calurosos, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared húmeda y dos extractores. Tiene ventanas laterales de 1,20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegida con malla antiáfido (Malla Plas®).

Los tratamientos fueron conformados de acuerdo a un arreglo factorial que consistió en dos cultivares de tomate saladette: Cuauhtémoc y El Cid (híbridos con crecimiento indeterminado de la compañía Harris Moran®) y cinco sustratos, evaluados en un diseño completamente al azar. La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y se tuvieron 12 macetas por tratamiento. Los sustratos evaluados fueron: S1 = arena + solución nutritiva inorgánica (testigo); S2 = arena + TVC al 2,5 % de concentración; S3 = mezcla de arena: C (1:1, v:v) + TVC al 2,5 % de concentración; S4 = mezcla de arena: VC (relación 1:1 v:v) + TVC al 2,5 % de concentración; y S5 = mezcla de arena: C: VC (relación 2:1:1 v:v) + TVC al 2,5 % de concentración.

La siembra se realizó el 6 de marzo y 2 de octubre de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades rellenas con Peat Moss (Premier®). El trasplante se efectuó el 9 de abril y 7 de noviembre de 2011, colocando una planta por contenedor. Estos consistieron en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, llenadas con base en el volumen. La densidad de población fue de 4 plantas m⁻². La arena utilizada en los sustratos fue previamente desinfectada con una solución de NaClO al 5 %.

El vermicompost se elaboró a base de estiércol y se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la UAAAN-UL. En este módulo se utilizaron estiércoles de caballo y de cabra con paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.), mezclados en una relación 1:1, en volumen, y lombrices *Eisenia fetida* (Atiyeh *et al.*, 2000a) durante un periodo de 90 días (Bansal y Kapoor, 2000). El compost fue comercial (MaxCompost®). Las características nutrimentales de los sustratos se presentan en la tabla

1. La solución nutritiva empleada en tratamiento S1 (Tabla 2) fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (2009).

Para preparar el TVC al 10 % de concentración se aplicó el método recomendado por Edwards *et al.* (2010), con una variación consistente en que la bolsa con VC se introdujo en un recipiente con 20 L de agua durante 5 min para lavar el exceso de sales, antes de someterse a oxigenación. En un contenedor de 60 L de capacidad se oxigenaron 45 L de agua con una bomba de aire (Biopro: BP9891. Tiray Technology Co Ltd®) 2 h antes de introducir la bolsa con 4,5 kg de VC; la oxigenación se realizó de manera continua hasta la conclusión del proceso (24 h). Además, se agregaron 40 g de piloncillo o panela, producto elaborado a partir de jugo de caña (*Saccharum officinarum* L.), sin refinar (Solís-Pacheco *et al.*, 2006), como fuente de energía para promover el crecimiento y desarrollo de los microorganismos.

La aplicación del TVC fue constante durante todo el ciclo, y para preservar su calidad éste se mantuvo aireado durante las 24 h; para aplicar el TVC al 2,5 % de concentración en S2, S3, S4 y S5, el TVC al 10 % de concentración se diluyó a una proporción de 1:3 utilizando 1 L de TVC por cada 3 L de agua potable. De esta dilución se aplicó 1 L por maceta. El pH del TVC fue ajustado a un valor de 5.5 con ácido cítrico ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) grado alimenticio, aplicado a una concentración 5 mM ($1,2 \text{ g L}^{-1}$) (Capulín-Grande *et al.*, 2007). Para satisfacer la demanda hídrica del cultivo se utilizó un sistema de riego por goteo en todos los tratamientos y la cantidad de agua aplicada, según la etapa fenológica del cultivo, osciló de 0.35 a 1.9 L planta⁻¹ día⁻¹. Ésta se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C_1S_1 , con una relación de absorción de sodio de 2,18) (Ayers y Westcot, 1994); presentó una CE de 1,05 dS m⁻¹, un pH de 7,8; y la concentraciones de cationes con valores de: $Ca^{2+} = 3,51$, $Mg^{2+} = 0,48$, $K^+ = 0,22$, $Na^+ = 2,71 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ y de aniones de: $HCO_3^- = 3,12$, $Cl^- = 2,3$, y $SO_4^{2-} = 2,62 \text{ mmol L}^{-1}$. Durante el ciclo de cultivo, que duró 144 y 132 días después del trasplante (ddt), la temperatura mínima y máxima dentro del invernadero fluctuó entre 17,4 y 36,9 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 20 y 79 %, respectivamente.

El cuidado y manejo de las plantas consistió en aplicar tutores colocando rafia horizontal para guiar a un solo tallo y en el uso de insumos: Biodie[®] (Tricarboxilos vegetales) y Protek[®] (derivados de ácidos de la extracción de aceites vegetales), aprobados por la normatividad de la IFOAM (2003). Diariamente entre las 11:00 y 13:00 h, se estimuló mecánicamente la polinización con un vibrador eléctrico. La cosecha de frutos se hizo del primero al octavo racimo y del primero al quinto racimo para el ciclo primavera-verano y otoño-invierno respectivamente.

Las variables evaluadas fueron: espesor de pericarpio, número de lóculos en el fruto, número de frutos por planta, tamaño de frutos (diámetro polar y ecuatorial de fruto), peso promedio de fruto, espesor de pericarpio, índice refractométrico, rendimiento y el contenido mineral y contenido de nitratos en frutos.

Parámetros hortícolas

Se realizaron 17 cortes, en 12 plantas de cada tratamiento para determinar el número de frutos por planta. El tamaño y el peso promedio de fruto se determinó tomando como muestra 10 frutos por planta. El rendimiento se determinó con el peso del número total de frutos obtenidos en los cortes, utilizando una báscula Ohaus modelo 3729 con capacidad máxima de 3000 gramos y resolución de 0,1 gramos. Parte de la fruta cosechada en cada corte fue macerada en fresco, en dicha pulpa molida se determinó el índice refractométrico en grados brix (°Bx) con un refractómetro manual de 0 a 32 % (Atago[®] modelo ATC1E).

Propiedades químicas del fruto

El contenido de minerales se determinó como sigue: El nitrógeno (N) fue determinado con el método de Kjeldahl (AOAC, 1980). La determinación de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K),

Zinc (Zn) y Manganese (Mn) se realizó por el método de la mezcla tri-ácida y por el método de espectrofotometría de absorción atómica (Jones *et al.*, 1991; A.O.A.C., 1980), mientras que la determinación de Fósforo (P) se determino con el método de metavanadato molibdato de amonio y colorimetría (Alcántar y Sandoval, 1999). Por otra parte la determinación del contenido de nitratos en fruto se llevo a cabo por la metodología propuesta por Keeney y Nelson (1982).

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza y en su caso la prueba de comparación de medias DMS con un nivel de confiabilidad de 95 % ($\alpha = 0.05$), mediante el paquete estadístico SAS 9.1 (SAS, 2004).

Resultados y discusión

El contenido mineral del C y VC se muestra en la tabla 1. En el presente trabajo experimental el contenido de macronutrientes fue mayor en C, sin embargo en VC el contenido de micronutrientes fue al menos 1,1 veces mayor que lo obtenido por el C.

Número de frutos por planta

Los efectos del uso de sustratos en el número de frutos por planta se muestran en el tabla 3. Se observó que las plantas desarrolladas bajo los sustratos F2, F3, F4 y F5 mostraron un decremento significativo ($P < 0,05$) en frutos por planta, con disminuciones del 16,07, 16,07, 12,50 y 8,92 %, respectivamente. A menudo se observa una reducción de 11,11 a 76,36 % en el numero de frutos cuando se utilizan mezclas de arena con sustratos orgánicos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2012). Resultados similares han sido reportados por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) quienes

obtuvieron un decremento de 22,91 y 31,25 % en el número de frutos de dos híbridos de tomate bola al usar mezclas de arena: VC.

Peso promedio y tamaño de fruto

El uso de TVC incremento en 11,06 % el peso promedio de fruto de las plantas desarrolladas bajo S2 en comparación con el testigo. Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez-Dimas *et al.*, (2007), quienes reportaron un incremento de 15,37 % en el peso de fruto de tomate desarrollado bajo arena + TVC en comparación con el testigo desarrollado en arena + fertilizantes inorgánicos. Por otra parte, el peso de fruto promedio obtenido en plantas desarrolladas bajo S3, S4 y S5 se decremento en 15,20, 5,71 y 7,20 % con respecto al peso obtenido en el testigo. Con frecuencia se observa en tomate una reducción de 19,15 y 35,71% en el peso de frutos cuando se usan mezclas (1:1) de arena: VC y arena: C respectivamente (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2008; Márquez-Hernández *et al.*, 2006).

Lo encontrado en este estudio resulta interesante, considerando que el peso y tamaño de fruto se afectó debido al uso de TVC (Tabla 3). El hecho de no haberse reducido el tamaño y peso de los frutos en las plantas desarrolladas bajo S2, representa un importante valor agregado en el producto cosechado. Este resultado se podría explicar con experiencias de otros autores como lo reportado por Arancon *et al.* (2004b), ellos encontraron que con la aplicación de vermicompost a un campo de fresa aumentó significativamente el contenido de citocininas, las cuales junto con las auxinas presentes en semillas inmaduras de frutos jóvenes, influyen en la regulación de la división y alargamiento celular, y por lo tanto inductores del crecimiento y peso del fruto, como lo mencionan Raven *et al.* (1992). En relación a lo anterior, Coletto (1995) menciona que después de la división celular inicia la acumulación de los fotoasimilados y con ello el crecimiento y peso de fruto. Por lo tanto, es probable que la fertilización orgánica al reducir la demanda de asimilados y otras hormonas en tejidos de crecimiento apical, favoreciera el contenido de citocininas y la acumulación de

fotoasimilados en fruto, evitando con esto reducción de peso y tamaño en ellos a pesar de un mayor número por planta como resultado de la aplicación del TVC. Por otra parte, de acuerdo al pliego de condiciones para el uso de la marca oficial “México Calidad Suprema” en tomate (SAGARPA-ASERCA, 2011), el tamaño de fruto mediano corresponde a un diámetro entre 4,9 y 5,9 cm, por lo que las plantas desarrolladas bajo los sustratos S1, S2, S4 y S5 obtuvieron frutos que caen en esta categoría.

Índice refractométrico

El contenido de sólidos solubles, de los frutos cosechados en plantas desarrolladas bajo S3, se incrementó en 12,61 % con respecto a los frutos cosechados en el testigo. Por otra parte, el menor contenido de sólidos solubles se registro en los frutos cosechados en el S2, con un decremento de 0,95 % en comparación con el testigo. En consecuencia, se confirma que el uso de TVC y sustratos orgánicos generaron frutos de mejor calidad en cuanto a contenido de sólidos solubles, ya que el tomate para consumo en fresco debe de contener más de 4,0 °Bx (Santiago *et al.*, 1998). Sin embargo, Diez (2001) mencionó que el tomate, para procesado o consumo en fresco, debe de contar con un contenido de sólidos solubles de al menos 4,5 °Bx. De acuerdo a lo anterior, todos los sustratos produjeron tomates con más de 4 °Bx, por lo cual son adecuados para consumo en fresco, mientras que para la industria, solo el sustrato S3 alcanzó los 4,5 °Bx requeridos.

Rendimiento

Las plantas del testigo presentaron mayor producción, superando en un 11,07, 28,92, 20,46 y 16,36 % a las plantas de los sustratos S2, S3, S4 y S5 respectivamente (Tabla 3). Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos no están permitidos en la normativa para la producción orgánica, además de incrementar los costos de producción, por lo que los resultados observados en el presente estudio se sugieren como adecuados para probarse en trabajos posteriores. El mayor rendimiento del testigo,

con respecto a los sustratos evaluados fue referido por Rodríguez-Dimas *et al.* (2008) y Márquez-Hernández *et al.* (2008), quienes encontraron mayor rendimiento en los sistemas de producción inorgánica. Al respecto, Stanhill (1990) menciona que en la agricultura orgánica el rendimiento se reduce entre 10 y 30 % respecto a la agricultura convencional. No obstante la disminución en el rendimiento observada en el presente trabajo puede ser compensada por el sobrepeso que tiene el tomate orgánico, que es de 5,84 veces el precio del tomate obtenido con el manejo convencional (SIAP, 2005).

El híbrido El Cid presentó 1,0031 veces mayor rendimiento en comparación con el cv. Cuauhtémoc. Por otra parte la mejor combinación se logró con el S1 y el cv. Cuauhtémoc, con 208,45 Mg ha⁻¹, y la peor el S3 y el cv. El Cid, con rendimiento de 130,96 Mg ha⁻¹. Los resultados obtenidos concordaron con lo establecido por Atiyeh *et al.* (2000a, 2000b), quienes recalcaron que los sustratos orgánicos beneficiaron el desarrollo de los cultivos en invernadero, y que las diferencias detectadas en las variables evaluadas se relacionaron con el contenido de elementos nutritivos y el incremento de sus comunidades microbianas (Arancon *et al.*, 2004b).

Contenido nutricional

Se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en el contenido mineral de los frutos desarrollados bajo los distintos sustratos (Tabla 4). El contenido mineral en frutos desarrollados bajo S2 se incrementó para Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO₃⁻ en 108,96, 2,43, 6,79, 19,60, 7,69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que los frutos de las plantas desarrolladas bajo S3 se incrementó el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16,22, 117,93, 32,68 y 23,07 % respectivamente, comparadas con el testigo. El flujo de minerales en plantas es variado y depende de la disponibilidad y demanda entre órganos de la planta y la etapa de desarrollo de la misma (Gutiérrez, 1997). Es posible que al usar sustratos orgánicos se modifique el patrón de traslocación de minerales y estos sean enviados en mayor proporción hacia los frutos en desarrollo y su distribución no sea más

equitativa entre ellos; reflejándose esto en lo observado de afectarse adversamente el contenido y los niveles de los mismos (Rademacher, 2004). La deficiencia de minerales, se refleja principalmente en frutos, se induce desordenes fisiológicos que se traducen en bajas en el rendimiento, tamaño, peso, color, forma, sabor y calidad nutritiva en fruto (Mancera *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008), lo que demuestra la gran importancia de no afectar los niveles en el contenido mineral; a pesar de que son diversos los factores que pudieran influenciar en la absorción, movilidad y asimilación de los elementos minerales en la planta (Shaviv y Mikkelsen, 1993).

Conclusiones

Las plantas del tratamiento testigo (arena + fertilizante inorgánico) presentaron mayor rendimiento, superando en al menos 11,07, 28,92, 20,47 y 16,36 % a las plantas de los tratamientos orgánicos S2 (arena + té de TVC al 2,5 % de concentración), S3 (mezcla de arena: C + TVC al 2,5 % de concentración), S4 (mezcla de arena: VC + TVC al 2,5 % de concentración) y S5 (mezcla de arena: C: VC + TVC al 2.5 % de concentración). En el tratamiento S3 se incremento en 12,75 % el contenido de solidos solubles con respecto al tratamiento S1. En plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S2 se incremento el contenido de Ca, Na, Fe, Zn, Mn y NO_3^- en 108,96, 2,43, 6,79, 19,60, 7,69 y 22 % respectivamente, comparadas con el testigo (S1). Mientras que las plantas desarrolladas bajo la fertilización orgánica S3 se incremento el contenido de P, Ca, Zn y Mn en 16,22, 117,93, 32,68 y 23,07 % respectivamente, comparadas con el testigo, S1. El hibrido 'El Cid' presentó mayor peso de fruto, diámetro ecuatorial, espesor de pericarpio, número de frutos por planta y rendimiento. Mientras que el hibrido 'Cuauhtemoc' presento los mayores niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn en el fruto. En este estudio se mostró que los tratamientos con fertilización orgánica (S2 y S5) pueden ser apropiados para la producción de tomate en invernadero.

Bibliografía

Alcántar GG, y Sandoval VM (1999). Manual de análisis químico del tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A. C. Chapingo, México. pp 156.

- AOAC (1990). Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis. 1980. Washington, D.C. USA.
- Argüello JA, Ledesma A, Núñez SB, Rodríguez CH, Diaz-Goldfarb MDC (2006). Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience*. 41(3): 589-592.
- Arancon NQ, Edwards CE, Atiyeh RM, Metzger JD (2004a). Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource. Technol.* 93: 139-144.
- Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C, Metzger JD (2004b). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. effects on growth and yields. *Bioresource. Technol.* 93: 145-153.
- Atiyeh RM, Arancon NQ, Edwards CA, Metzger JD (2000a). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource. Technol.* 75:175-180.
- Atiyeh RM, Edwards CA, Subler S, Metzger JD (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource. Technol.* 78, 11-20.
- Atiyeh RM, Subler S, Edwards CA, Bachman G, Metzger JD (2000b). Effects of vermicompost and compost on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44:579-590.
- Ayers RS, y Westcot WD (1994). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.
- Bansal S, y Kapoor KK (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource. Technol.* 73: 95-98.
- Capulín-Grande J, Nuñez-Escobar R, Aguilar-Acuña JL, Estrada-Botello M, Sánchez-García P, Mateo-Sánchez JJ (2007). Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(1): 5-11.
- Castellanos JZ, y Ojodeagua JL (2009). Formulación de la solución nutritiva. P 131-156. *In: Manual de producción de tomate en invernadero*. J Z Castellanos (Ed.). Intagri. México.
- Coletto JM (1995). Crecimiento y Desarrollo de las Especies Frutales. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 168 p.
- Diez NM (2001). Tipos varietales. P 93-129. *In: El cultivo del tomate*. F Nuez, (Ed.). Madrid, España.
- Edwards CA, Askar A, Vasko-Bennet M, Arancon NQ (2010). The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235-248. *In: Vermiculture Technology*, C A. Edwards, N Arancon and R Sherman. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. <http://dx.doi.org/10.1201/b10453-16>
- Gutiérrez-Miceli FA, Santiago-Borraz J, Montes MJA, Carlos NC, Abud-Archila M, Oliva MAL, Rincón-Rosales R, Dendooven L (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource. Technol.* 98(15): 2781-2786.
- Gutiérrez MV (1997). Nutrición mineral de las plantas: avances y aplicaciones. *Agronomía Costarricense* 21(1): 127-137.
- INFOAM (2003). International Federation of Organic Agriculture Movements. Normas para la producción y procesado orgánico. Victoria, Canadá. 158 p.
- Jones BRJR, Wolf B, Mills HA (1991). Plant analysis handbook micro-macro. Publishing Inc. Athens, Georgia, USA. pp 213.
- Keeney DR, y Nelson DW (1982). Nitrogen – Inorganic forms. pp. 643-698. *En: Page, A. L. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. 2ed. Agron. Monogr. 9. AsA and SSSA. Madison Wi.*
- Lim SL, Wu TY, Sim EYS, Lim PN, Clarke C (2012). Biotransformation of rice husk into organic fertilizer through vermicomposting. *Ecological Engineering*. 41: 60-64.
- Mancera MM, Soto JM, Sánchez E, Yañez RM, Montes F, Balandran RR (2007). Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. *Tecnociencia Chihuahua* 1(2): 6-17.

- Martínez FE, Sarmiento J, Fischer G, Jiménez F (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26(3): 389-398.
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Chew-Madinaveitia YJ, Moreno-Reséndez A, Rodríguez-Dimas N (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(12): 183-189.
- Márquez HC, Cano P, Rodríguez N, Moreno A, De La Cruz E, García JL, Preciado P, Castañeda G, García C (2009). Producción en invernadero de tomate orgánico. *In: I Simposio de Producción Moderna de Melón y Tomate. XIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Torreón Coahuila. México.* p.1-24.
- Moreno-Reséndez A, Gómez-Fuentes L, Cano-Ríos P, Martínez-Cueto V, Reyes-Carrillo JL, Puente-Manríquez JL, Rodríguez-Dimas N (2008). Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost:arena en invernadero. *Rev. Terra Latinoamericana.* 26(2): 103-109.
- Moreno RA, López AFJ, Figueroa VU, Rodríguez DN, Vásquez AJ, Reyes CJL, Cano RP, Reyes VMH (2012). Tomato production in sand: vermicompost mixtures compared with sand and nutritive solution. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review.* 1(1): 19-26.
- Moreno-Reséndez A, Valdes-Perezgasga MT, Zarate-Lopez T (2005). Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agri. Tec. Chile* 65: 26-34.
- Negi R, y Suthar S (2013). Vermistabilization of paper mill wastewater sludge using *Eisenia fetida*. *Bioresource. Technol.* 128: 193-198.
- Rademacher W (2004). Chemical regulation of shoot growth in fruit trees. *Acta Horticulturae* 653: 29-32.
- Ramesh P, Singh M, Rao AS (2005). Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Sci.* 88(4): 561-568.
- Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (1992). *Biología de las plantas. Volumen 2.* Traducido al español por Santamaria, R.; Lloret, F.; Mas, M.; Cardona, M. A. Editorial Reverté. Barcelona, España. 773 p.
- Rodríguez-Dimas N, Cano-Ríos P, Favela-Chávez E, Figueroa-Viramontes U, De Paul-Álvarez V, Palomo-Gil A, Márquez-Hernández C, Moreno-Reséndez A (2007). Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura* 13(2): 185-192.
- Rodríguez-Dimas N, Cano-Ríos P, Figueroa-Viramontes U, Palomo-Gil A, Favela-Chávez E, Álvarez-Reyna VP, Márquez-Hernández C, Moreno-Reséndez A (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec.Mex.* 31: 265-272.
- SAGARPA-ASERCA (2011). Pliego de condiciones para uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate. BANCOMEX ASERCA. PC-020-2005. Disponible en [http://www.normich.com.mx/pdf\(PC_020_2005_Tomate.pdf](http://www.normich.com.mx/pdf(PC_020_2005_Tomate.pdf) 22 pag. (20 noviembre de 2012).
- SAS (2004). *Statistical Analysis System. What's New in SAS 9.0, 9.1, 9.1.2 and 9.1.3.* SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.
- SIAP (2005). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción de jitomate rojo orgánico. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- SIAP (2011a). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción de jitomate rojo. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- SIAP (2011b). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción de jitomate rojo bajo invernadero. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Shaviv A, Mikkelsen RL (1993). Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-a review. *Fertilizer Research* 35(1-2): 1-12.

- Solís-Pacheco JR, Pérez-Martínez F, Orozco-Ávila I, Flores-Montaña JL, Ramírez-Romo E, Hernández-Rosales A, Aguilar-Uscanga B (2006). Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis*. 4(1): 1-8
- Stanhill G (1990). The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30: 1-26.
- Steffen GPK, Antonioli ZI, Steffen RB, Machado RG (2010). Cascara de arroz y estiércol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoológica Mexicana (n.s). Número Especial 2*: 333:343.
- Valdez-Pérez MA, Fernández-Luqueño F, Franco-Hernandez O, Flores LB, Dendooven L (2011). Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. *Scientia Horticulturae*. 128: 380-387.
- Warman PR, y AngLopez MJ (2011). Vermicompost derived from different feedstocks as a plant growth médium. *Bioresource. Technol.* 101: 4479-4483.

Tabla 1. Análisis químico del compost, vermicompost y té de vermicompost.**Table 1.** Chemical analysis of compost, vermicompost and vermicompost tea.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)				(dS m ⁻¹)
C	24,1	11,9	33,6	87,6	9,40	5,70	5920	260	160	8,5	6,7
VC	12,7	1,50	8,80	69,2	6,00	1,00	7090	330	210	7,9	2,4
TVC	8,30	4,90	7,10	32,3	7,50	2,00	2,4	0,5	1,58	8,0	2,0

C = compost; VC = vermicompost; TVC = té de vermicompost.

Tabla 2. Solución nutritiva para cuatro etapas de desarrollo de tomate.**Table 2.** Nutrient solution for four developmental stages of tomato.

Ion	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
	1 ^{er} Cuaje	1 ^{er} - 3 ^{er} Cuaje	3 ^o - 5 ^o Cuaje	> 5 ^o Cuaje
mmol L ⁻¹				
NO ₃ ⁻	6	8	10	12
NH ₄ ⁺	0-0,5	0-0,5	0,5	0,5
H ₂ PO ₄ ⁻	1,5	1,5	1,5	1,5
K ⁺	3,5	5,5	7	8,5
Ca ²⁺	4	4	4	4,5
Mg ²⁺	1	1,5	2	2
SO ₄ ²⁻	1,5 a 3	1,5 a 3	1,5 a 3	1,5 a 4
HCO ₃ ⁻	1	1	1	1
Na ⁺	<5	<5	<5	<5
Cl ⁻	1 a 3	1 a 3	3 a 5	3 a 5
CE	1,4	1,8	2,2	2,4

CE = conductividad eléctrica.

Tabla 3. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de tomate saladette, desarrollados con abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero.

Table 3. Mean values and statistical difference of the variables evaluated in saladette tomato genotypes, developed with organic fertilizers under greenhouse conditions.

T		PF (g)	DP (cm)	DE (cm)	EP	NF	IR (°Bx)	R (Mg ha ⁻¹)
Genotipos (G)								
	Cuauhtémoc	81,74 b	6,09 a	4,91 b	0,73 b	49 b	4,40 a	166,78 b
	El Cid	88,52 a	6,03 b	5,11 a	0,76 a	51 a	4,37 b	167,31 a
Sustrato (S)								
	S1	88,60 b	6,06 c	5,13 a	0,76 a	56 a	4,20 d	197,37 a
	S2	96,18 a	6,13 b	5,13 a	0,74 c	47 d	4,16 e	175,52 b
	S3	75,13 e	5,96 d	4,82 d	0,75 b	47 d	4,73 a	140,29 e
	S4	83,54 c	6,24 a	5,04 b	0,75 b	49 c	4,46 b	156,98 d
	S5	82,22 d	5,92 e	4,94 c	0,74 c	51 b	4,38 c	165,08 c
G x S								
T1	Cuauhtémoc x S1	80,28 g	5,97 f	5,01 e	0,74 d	62 a	4,23 g	208,45 a
T2	Cuauhtémoc x S2	93,75 c	6,20 b	5,05 d	0,74 d	46 h	4,14 j	166,32 f
T3	Cuauhtémoc x S3	75,08 j	5,97 f	4,74 i	0,73 e	50 e	4,72 b	149,61 h
T4	Cuauhtémoc x S4	79,16 h	6,38 a	4,86 h	0,72 f	45 i	4,54 c	142,29 i
T5	Cuauhtémoc x S5	80,43 f	5,92 h	4,89 g	0,73 e	52 c	4,35 f	167,22 e
T6	El Cid x S1	96,92 b	6,15 c	5,25 a	0,77 b	49 f	4,16 i	186,29 b
T7	El Cid x S2	98,60 a	6,05 e	5,21 c	0,73 e	48 g	4,18 h	184,71 c
T8	El Cid x S3	75,18 i	5,95 g	4,89 g	0,76 c	44 j	4,74 a	130,96 j
T9	El Cid x S4	87,92 d	6,10 d	5,22 b	0,78 a	53 b	4,38 e	171,66 d
T10	El Cid x S5	84,00 e	5,91 i	4,98 f	0,74 d	50 d	4,41 d	162,93 g
Media general		85,13	6,06	5,01	0,74	50	5,39	167,05
CV (%)		9	5	6	13	17	12	18

T = tratamiento; Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0,05$. S1 = arena + fertilizantes inorgánicos; S2 = arena + té de vermicompost; S3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost; S4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost; S5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost. PF = peso de fruto; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; IR = índice refractométrico; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

Tabla 4. Contenido nutricional de tomate orgánico y convencional.
Table 4. Nutritional content of organic and conventional tomato.

T	Genotipo (G)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	N-NO ₃ ⁻
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
	Genotipo (G)										
	Cuauhtémoc	17,0 a	4,44 a	42,52 a	3,84 a	1,90 a	1,00 b	54,8 a	19,2 a	10,8 b	4,2 a
	El Cid	16,7 b	3,92 b	41,42 b	1,94 b	1,72 b	1,10 a	50,8 b	16,8 b	11,6 a	4,1 a
	Sustrato (S)										
	S1	16,73 c	4,13 c	45,67 a	2,23 d	1,96 a	1,23 b	53,0 c	15,3 e	13 c	5,0 b
	S2	16,70 d	4,13 c	43,23 b	4,66 b	1,50 d	1,26 a	56,6 b	18,3 b	14 b	6,1 a
	S3	16,73 c	4,80 a	43,00 c	4,86 a	1,66 c	1,06 c	45,3 d	20,3 a	16 a	3,6 c
	S4	16,90 b	3,66 d	38,73 d	2,36 c	1,96 a	1,23 b	60,0 a	16,6 c	6 e	3,1 c
	S5	17,03 a	4,30 b	38,33 e	1,70 d	1,83 b	0,73 d	41,6 e	16,3 d	8 d	3,1 c
	G x S										
T1	Cuauhtémoc x S1	16,8 c	4,2 g	52,2 a	2,1c	2,0 b	1,2 c	54,0 d	17,0 e	16 b	4,9 d
T2	Cuauhtémoc x S2	17,1 a	5,2 a	37,9 k	11,0 a	1,9 c	1,0 d	50,0 f	23,0 a	12 e	5,6 b
T3	Cuauhtémoc x S3	17,1 a	4,8 c	41,3 h	2,0 e	1,8 d	0,8 e	52,0 e	21,0 b	15 c	3,3 g
T4	Cuauhtémoc x S4	17,1 a	3,7 i	38,8 i	2,2 c	2,0 b	1,2 c	81,0 a	17,0 e	7 g	3,6 f
T5	Cuauhtémoc x S5	17,1 a	4,3 f	42,4 f	1,9 f	1,8 d	0,8 e	37,0 j	18,0 d	4 j	3,3 g
T6	El Cid x S1	16,5 f	4,3 f	42,2 g	2,8 b	1,7 e	1,2 c	50,0 f	15,0 g	13 d	6,6 a
T7	El Cid x S2	16,5 f	3,6 j	45,9 b	1,5 j	1,3 f	1,4 a	60,0 b	16,0 f	15 c	5,1 c
T8	El Cid x S3	1,66 e	4,6 d	44,3 c	1,6 i	1,9 c	1,0 d	50,0 f	19,0 c	12 e	3,9 e
T9	El Cid x S4	16,7 d	2,9 k	38,7 j	2,1 d	1,7 e	1,2 c	49,0 g	16,0 f	5 i	2,6 i
T10	El Cid x S5	16,9 b	4,2 g	36,0 l	1,7 h	2,0 b	0,7 f	45,0 h	18,0 d	13 d	3,0 h
	Media general	16,8	4,2	41,8	3,2	1,8	1,1	51,33	17,4	11,4	4,19
	CV (%)	5	5	7	7	7	5	5	5	5	8

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales con la prueba DMS $P \leq 0,05$; ND = no detectado; S1 = arena + fertilizantes inorgánicos; S2 = arena + té de vermicompost; S3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost; S4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost; S5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost.

Artículo 4. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA: ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE PIQUÍN BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS

C. Márquez-Quiroz^{1,4}†; S. T. López-Espinosa^{2,4}; P. Cano-Ríos³; A. Moreno-Reséndez³; E. De la Cruz-Lázaro⁴

¹Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Unidad Laguna (UL), México. Correo-e: cesar_quiroz23@hotmail.com

(†Autor responsable). ²Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, UAAAN UL. ³Profesor Investigador UAAAN UL. ⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Organic fertilization: alternative for the production of piquín chili under protected conditions

ABSTRACT

We evaluated the vermicompost tea (VCT) as organic fertilizer and the combination with mixtures of sand: compost (C): vermicompost (VC) in the piquín chili production under greenhouse. During 2011-2012, Chilpaya piquin chili ecotype was evaluated with five fertilizer treatments: F1 = sand + inorganic nutrient solution; F2 = sand + VCT; F3 = sand + compost (1:1; v/v) + VCT; F4 = sand + vermicompost (1:1; v/v) + VCT y F5 = sand + compost + vermicompost (2:1:1; v/v) + VCT. The treatments F2, F3, F4 and and F5 showed an increase in yield of 440, 564.61, 415.38 y 418.46 % respectively, relative to the yield obtained in field. This study suggests that the VCT combined with mixture of sand: C or sand may be considered an alternative fertilizer for organic piquín chili production under greenhouse.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Capsicum annuum* var. *aviculare*, greenhouse, vermicompost, vermicompost tea.

RESUMEN

Se evaluó el té de vermicompost (TVC) como fertilizante orgánico y en combinación con mezclas de arena: compost (C): vermicompost (VC) en la producción de chile piquín bajo invernadero. Durante 2011-2012, el ecotipo chilpaya se evaluó en cinco tratamientos de fertilización: F1 = arena + solución nutritiva inorgánica; F2 = arena + TVC; F3 = mezcla de arena: C (relación 1:1; v/v) + TVC; F4 = mezcla de arena: VC (relación 1:1; v/v) + TVC y F5 = mezcla de arena: C: VC (relación 2:1:1; v/v) + TVC. Los tratamientos F2, F3, F4 y F5 registraron un incremento en el rendimiento de 440, 564.61, 415.38 y 418.46 % respectivamente, con relación al rendimiento obtenido en campo abierto. El estudio sugiere que el TVC en combinación con la mezcla de arena: C o solo con arena puede ser considerado como una alternativa para la producción orgánica de chile piquín bajo invernadero.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Capsicum annuum* var. *aviculare*, invernadero, lombricompost, té de vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El chile piquín (*Capsicum annuum* L., Var. *aviculare*) es un recurso vegetal silvestre de amplia distribución geográfica. Para los habitantes de la región Noreste de México representa una fuente alimenticia, medicinal y generadora

de ingresos adicionales. Actualmente las poblaciones naturales de esta especie han disminuido significativamente debido a la presión antropogénica y aun manejo inadecuado de los recursos naturales (Rodríguez-del Bosque, 2005). La adición de compost (C) y vermicompost (VC) a los suelos y sustratos incrementa el crecimiento y la productividad de diversos cultivos hortícolas, tales como el tomate (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007), la lechuga (Steffen *et al.*, 2010), el pimiento (Arancon *et al.*, 2004a), el ajo (Argüello *et al.*, 2006) y la fresa (Arancon *et al.*, 2004b). El C y VC constituyen una fuente de elementos nutritivos de lenta liberación y fácilmente disponibles para las plantas, a medida que las especies vegetales los van demandando (Chaoui *et al.*, 2003), al mezclar estos materiales con medios inertes como la arena se mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia. Además, ambos productos pueden satisfacer los requerimientos nutrimentales de cultivos hortícolas en invernadero durante los primeros dos meses posteriores al trasplante (Márquez-Hernández *et al.*, 2006). No obstante, después de este tiempo los cultivos han manifestado deficiencias nutrimentales, principalmente de N (Rodríguez-Dimas *et al.*, 2007); lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del N tanto en el C, como en el VC. En los sistemas de producción bajo condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivo puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición. El té de VC, solución resultante de la fermentación aeróbica del VC en agua de la llave, puede utilizarse como fuente nutritiva, debido a que contiene elementos nutritivos, sustancias solubles y microorganismos benéficos (Edwards *et al.*, 2010). Sin embargo, a la fecha existen pocas referencias acerca del uso del té de VC como fuente de fertilización, para satisfacer los requerimientos nutrimentales del cultivo de chile piquín.

Con base en lo anterior el objetivo del estudio consistió en determinar si el té de VC, aplicado como fertilizante orgánico y en combinación con mezclas de arena: C: VC, puede sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes sintéticos en la producción de chile piquín bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló durante el ciclo agrícola O-I 2011-2012, en la Comarca Lagunera (25° 05' y 26° 54' N y 101° 40' y 104° 45' O), en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL). El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y protegido con malla sombra durante las estaciones del año más calurosos, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared húmeda y dos extractores. Tiene ventanas laterales de 1.20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegida con malla antiáfido (Malla Plas®).

Los tratamientos fueron distribuidos de acuerdo a un diseño completamente al azar, se evaluó el ecotipo denominado Chilpaya procedente de Acatlán de Pérez Figueroa Oaxaca, dicho ecotipo mostró características sobresalientes en germinación y producción. La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y con 8 repeticiones por tratamiento.

Las formas de fertilización evaluadas fueron: F1 = arena + solución nutritiva inorgánica (testigo); F2 = arena + té de VC al 2.5 % de concentración; F3 = mezcla de arena + C (1:1, v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + VC (relación 1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; y F5 = mezcla de arena + C + VC (relación 2:1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración.

La siembra se realizó el 3 de septiembre de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades rellenas con Peat Moss (Premier®). El trasplante se efectuó el 7 de noviembre de 2011, colocando una planta por contenedor. Estos consistieron en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, llenadas con base en el volumen. La densidad de población fue de 4 macetas m⁻². La arena utilizada en las mezclas fue previamente desinfectada con una solución de agua y cloro al 5 %.

El compost fue comercial (MaxCompost®) y el VC se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la UAAAN-UL. En este modulo se utilizaron estiércoles de caballo y de cabra con paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.), mezclados en una relación 1:1, en volumen, y lombrices *Eisenia fétida* (Atiyeh *et al.*, 2000), durante un periodo de 90 días (Bansal y Kapoor, 2000). Las características químicas y composición nutrimental de los tratamientos usados se presentan en el Cuadro 1. La solución nutritiva empleada en tratamiento F1 (Cuadro 2) fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (2009).

El té de VC se preparó al 10 % de concentración como solución madre, para esto se usó el método recomendado por Edwards *et al.* (2010), con una variación consistente en que la bolsa con VC se introdujo en un recipiente con 20 litros de agua durante 5 min para lavar el exceso de sales, antes de someterse a oxigenación. En un contenedor de 60 litros de capacidad se oxigenaron 45 litros de agua con una bomba de aire (Biopro: BP9891. Tiray Technology Co Ltd®) 2 h antes de introducir la bolsa con 4.5 kg de VC; la oxigenación continuo hasta el fin del proceso (24 h). Se agregaron 40 g de piloncillo como fuente de energía para los microorganismos. La aplicación del té de VC fue constante durante todo el ciclo y aireado durante 24 h diariamente; para el tratamiento F2, F3, F4 y F5 se aplicaron 1 litro de té al 2.5 % de concentración (1 litro de té al 10 % de concentración diluido en 3 L de agua potable) para cada maceta. El pH del té de VC fue ajustado a 5.5 con ácido cítrico grado alimenticio ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) aplicado a una concentración 5 mM ($1.2 \text{ g} \cdot \text{litro}^{-1}$) (Capulín-Grande *et al.*, 2007). Para el suministro de agua de riego se utilizó riego por goteo en todos los tratamientos y la cantidad de agua aplicada, según la etapa fenológica del cultivo, osciló de 0.35 a $1.9 \text{ litros} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$. El agua de riego utilizada se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C_1S_1 , con una relación de absorción de sodio de 2.18) (Ayers y Westcot, 1994); C.E. $1.05 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, pH: 7.8; cationes. $Ca^{2+} = 3.51$, $Mg^{2+} = 0.48$, $K^+ = 0.22$, $Na^+ = 2.71 \text{ mmol} \cdot \text{litro}^{-1}$ y aniones: $HCO_3^- = 3.12$, $Cl^- = 2.3$, y $SO_4^{2-} = 2.62 \text{ mmol} \cdot \text{litro}^{-1}$. La temperatura mínima y máxima dentro del

invernadero fluctuó entre 17.4 y 36.9 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 20 y 79 %, respectivamente, durante el ciclo de cultivo que duró 173 días después del trasplante (ddt).

En cada unidad experimental se registró la altura de planta y el rendimiento total; la calidad de fruto se determinó en cuatro plantas por tratamiento y en 25 frutos por planta, considerando las siguientes variables: peso individual, longitud del fruto y diámetro ecuatorial, mientras que para evaluar rendimiento se determinaron número y peso de frutos por planta, realizando dos cortes con intervalos entre ellos de 14 días. Para analizar el comportamiento de altura de planta, a través del tiempo, se utilizó un análisis de regresión, mientras que para rendimiento y calidad de fruto se aplicó el análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizó una comparación entre medias utilizando la prueba DMS al 5 %. Los análisis se realizaron con apoyo del programa estadístico SAS (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido mineral del C y VC se muestra en el cuadro 1. En el presente trabajo experimental el contenido de macronutrientes fue mayor en el C, sin embargo el contenido de micronutrientes en el VC fue al menos 1.1 veces mayor que lo obtenido por el C.

La dinámica de crecimiento de las plantas de chile piquín, en las diferentes formas de fertilización evaluadas, se muestra en las ecuaciones de regresión lineal (Cuadro 3). El ajuste lineal para todos los tratamientos resultó muy aceptable ya que el r^2 fluctuó entre 62 y 83 %. Los tratamientos que promovieron la mayor altura a través del ciclo de cultivo fueron F1 y F4, resultando estadísticamente iguales. Este resultado se puede atribuir a la carga genética del ecotipo y el medio donde se desarrolló el cultivo.

En el presente trabajo, no se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para las variables: longitud de fruto, número de frutos por planta, rendimiento y peso de fruto promedio (Cuadro 4). El hecho de no haberse reducido el tamaño y peso de los frutos en las plantas desarrolladas bajo las fuentes orgánicas, representa un importante valor agregado en el producto cosechado. En este trabajo el chile piquín produjo 392.10 frutos por planta, con un peso promedio de fruto de 0.52 g y un rendimiento de $3.90 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los resultados anteriores contrastan con lo reportado por Sandoval-Rangel *et al.* (2011), quienes de manera experimental en campo abierto obtuvieron 433.18 frutos por planta, con un peso promedio de fruto de 0.3 g y un rendimiento de $2.33 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, al evaluar el ecotipo denominado Japonés. Por otra parte, el rendimiento promedio nacional es de $0.65 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SIAP, 2012), por lo que el rendimiento promedio del presente trabajo se incrementó hasta un 500 % con respecto a lo obtenido en campo. Lo encontrado en este estudio resulta interesante, considerando que el precio de chile piquín alcanza hasta 40 veces el valor de los chiles cultivados.

Las plantas del testigo presentaron mayor rendimiento, superando en al menos 26.10, 9.05, 29.47 y 29.05 % al rendimiento obtenido en las plantas desarrolladas bajo F2, F3, F4 y F5 respectivamente. Sin embargo, el uso de fertilizantes inorgánicos no están permitidos en la normativa para la producción orgánica, además de incrementar los costos de producción, por lo que los resultados observados en el presente estudio se sugieren como adecuados para probarse en trabajos posteriores. Es importante señalar, que el rendimiento obtenido pone de manifiesto, las altas cantidades de elementos nutritivos contenidos en el C, VC y té de VC, como lo menciona Edwards *et al.* (2010).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten destacar que el té de VC tiende a provocar efectos positivos en los indicadores de desarrollo del chile piquín. Por lo que el té de VC, aplicado en arena y en combinación con la mezcla arena: C, puede

ser considerado como fertilizante alternativo para la producción orgánica de chile piquín bajo invernadero.

LITERATURA CITADA

- ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; ATIYEH, R. M.; METZGER, J. D. 2004a. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource. Technol.* 93: 139-144.
- ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; BIERMAN, P.; WELCH, C.; METZGER, J. D. 2004b. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. effects on growth and yields. *Bioresource. Technol.* 93: 145-153.
- ARGÜELLO, J. A.; LEDESMA, A.; NÚÑEZ, S. B.; RODRÍGUEZ, C. H.; DÍAZ GOLDFARB, M. D. C. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience* 41(3): 589-592.
- ATIYEH, R. M.; ARANCON, N.; EDWARDS, C. A.; METZGER, J. D. 2000. Influence of eartworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource. Technol.* 75(3): 175-180.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. 1994. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.
- BANSAL, S.; KAPOOR, K. K. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource. Technol.* 73: 95-98.
- CAPULÍN-GRANDE, J.; NUÑEZ-ESCOBAR, R.; AGUILAR-ACUÑA, J. L.; ESTRADA-BOTELLO, M. A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; MATEO-SÁNCHEZ, J. J. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1): 5-11.

- CASTELLANOS, J. Z.; OJODEAGUA, J. L. 2009. Formulación de la solución nutritiva. P 131-156. *In*: Manual de producción de tomate en invernadero. CASTELLANOS, J. Z. (Ed.). Intagri. México.
- CHAOUI, H. I.; ZIBILSKE, L. M.; OHNO, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 295-302.
- EDWARDS, C. A.; ASKAR, A.; VASKO-BENNET, M.; ARANCON, N. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235 – 248. *In*: Vermiculture Technology. EDWARDS, C. A.; ARANCON, N.; SHERMAN, R. (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. USA.
- GUTIÉRREZ-MICELI, F. A.; SANTIAGO-BORRAZ, J.; MONTES, M. J. A.; CARLOS, N. C., ABUD-ARCHILA, M.; OLIVA, M. A. L.; RINCÓN-ROSALES, R.; DENDOOVEN, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource. Technol.* 98(15): 2781-2786.
- MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, C.; CANO-RIOS, P.; CHEW-MADINAVEITIA, Y. I.; MORENO-RESÉNDEZ, A.; RODRÍGUEZ-DIMAS, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2): 183-189.
- RODRÍGUEZ-DEL BOSQUE, L. A. 2005. Preferencias del consumidor por el chile piquín en comparación con otros chiles en el noreste de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2): 279-281.
- RODRÍGUEZ-DIMAS, N.; CANO-RIOS, P.; FAVELA-CHÁVEZ, E.; FIGUEROA-VIRAMONTES, U.; DE PAUL-ÁLVAREZ, V.; PALOMO-GIL, A.; MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, C.; MORENO-RESÉNDEZ, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura* 13(2): 185-192.
- SANDOVAL-RANGEL, A.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; ALVARADO-VÁZQUEZ, M. A.; FROUGHBAKHCH-POURNAVAB, R.; NÚÑEZ-GONZÁLEZ, M. A.; ROBLEDO-TORRES, V. 2011. Influencia de ácidos

orgánicos sobre el crecimiento, perfil bromatológico y metabolitos secundarios en chile piquín. *Terra Latinoamericana* 29(4): 395-401.

SAS. 2004. *SAS User's Guide. Version 9.1*. SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Producción de chile verde piquín. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2012] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; MACHADO, R. G. 2010. Cascara de arroz y estiércol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s). Número Especial 2: 333:343.

Cuadro 1. Análisis químico del compost, VC y té de VC. Torreón, Coah. 2012.

Muestra ^y	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(g•kg ⁻¹)						(mg•kg ⁻¹)			(dS•m ⁻¹)	
C	24.1	11.9	33.55	87.6	0.942	5.67	5920	260	160	8.5	6.7
VC	12.7	1.50	8.82	69.2	0.596	1.01	7090	330	210	8.2	2.4
TVC	8.30	4.90	7.10	32.3	0.7.5	2.00	6.4	2.7	4.9	8	2.0

^yC = compost; VC = vermicompost; A = arena; TVC = Té de VC; ^zND = no detectado.

Cuadro 2. Concentración de solución nutritiva usada para el desarrollo de chile piquín en invernadero.

Etapa/ion	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ P ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HC ₃ O ₃ ⁻	N ^{a-}	C ^{l-}	CE ^z
	(mmol•litro ⁻¹)										(dS•m ⁻¹)
Plantación y establecimiento	6	0.5	1.5	4	4	1	1.5	1	<5	3	1.4
Floración y cuajado	8	0.5	1.5	6	4	1.5	3	1	<5	3	1.8
Inicio de maduración y cosecha	10	0.0 ₅	1.5	7	4	2	3	1	<5	5	2.2

^zCE = conductividad eléctrica.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión para las fuentes de fertilización en relación con la altura de planta en chile piquín orgánico. Torreón, Coah. 2012.

Tratamiento ^y	Ecuación de Regresión ^z	r ²	Altura final (cm)
F1	y = 0.39742x - 13.17124	0.78	55.58
F2	y = 0.33664x - 11.60866	0.63	46.63
F3	y = 0.32525x - 9.33138	0.76	46.94
F4	y = 0.36471x - 9.04226	0.83	54.05
F5	y = 0.2186x - 5.88581	0.62	31.93

^yF1 = arena + solución nutritiva inorgánica; F2 = arena + té de VC al 2.5 % de concentración; F3 = mezcla de arena + C (1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + VC (1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; F5 = mezcla de arena + C + t (2:1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; ^zy= altura.; x = ddt

Cuadro 4. Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en chile piquín, desarrollado con abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero. 2012.

Tratamiento ^z	PF (g)	L (cm)	DE	NFP	R (Mg·ha ⁻¹)
F1	0.52 a ^y	1.10 ab	0.84 b	393.9 a	4.75 a
F2	0.58 a	1.20 a	0.91 a	343.1 a	3.51 a
F3	0.50 a	1.14 ab	0.85 b	473.5 a	4.32 a
F4	0.49 a	1.05 b	0.84 b	383.9 a	3.35 a
F5	0.51 a	1.10 ab	0.88 ab	356.2 a	3.37 a
Diferencia estadística ($P \leq 0.05$)	NS	NS	NS	NS	NS
Coeficiente de variación	18	10	5	48	46

^yValores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales con la prueba DMS $P \leq 0.05$. ^zF1 = arena + solución nutritiva inorgánica (testigo); F2 = arena + té de VC al 2.5 % de concentración; F3 = mezcla de arena + C (1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; F4 = mezcla de arena + VC (1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración; F5 = mezcla de arena + compost + VC (2:1:1 v:v) + té de VC al 2.5 % de concentración. PF = Peso de fruto; L = Longitud; DE = Diámetro ecuatorial; NFP = Número de frutos por planta; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación. NS = no significativo.

2.- Efecto de la fertilización orgánica en los indicadores bioquímicos y fisiológicos en tomate.

Artículo 5. Nitrogen metabolism and yield response of tomato plants to organic fertilizer

Metabolismo nitrogenado y rendimiento de tomate en respuesta a la fertilización orgánica

C. Márquez-Quiroz^{1,18}, S. T. López-Espinosa¹, E. Sánchez-Chávez², P. Cano-Ríos, A¹. Moreno-Reséndez¹, V. Robledo-Torres¹, U. Figueroa-Viramonte³, E. De la Cruz-Lázaro⁴

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez Km 2 y Carretera a Santa Fe S/N CP 27000 Torreón Coah. México. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Delicias, Chihuahua. México. ³CELALA. INIFAP. ⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Resumen:

Plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero fueron sometidas a fertilización orgánica y convencional. El objetivo del experimento fue determinar tanto el efecto de la fertilización orgánica y convencional en genotipos de tomate, así como el comportamiento de algunos de sus indicadores bioquímicos y fisiológicos. Para las cinco formas de fertilización y dos genotipos usados, los parámetros analizados fueron: clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), carotenos y la actividad enzimática nitrato reductasa *in vivo*. Los resultados muestran una fuerte influencia del tipo de fertilización en el contenido foliar de N. Con respecto a los pigmentos foliares proporcionaron buenos indicadores en el nivel de N en los diferentes tipos de fertilización. El rendimiento se decremento bajo la fertilización F2 en al menos 16.45 %, aunado a lo anterior esta fertilización obtuvo la mejor asimilación de NO₃⁻.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, nitrato reductasa, té de vermicompost, hojas y fruto, rendimiento

Abstract

Tomato plants grown under controlled greenhouse conditions were submitted to organic and conventional fertilization. The aim of the experiment was to determine both the effect of organic and conventional fertilization on different genotypes of tomato plants as well as the behavior of some of its biochemical and physiological indicators. For the

¹⁸ Author to whom correspondence should be addressed; e-mail cesar_quiroz23@hotmail.com

five fertilizer forms and two genotypes used, the following parameters were analyzed: chlorophyll *a* (Chl *a*), chlorophyll *b* (Chl *b*), carotenes and the nitrate reductase (NR) enzymatic activity *in vivo*. The results showed a strong influence of fertilization type on the foliar content of N. With regard to the activities of the chlorophyll and carotene pigments provided good indicators of the N level in the different fertilizer types, while the yield decreases 16.45 % in the F2, this treatment gave the greatest NO₃⁻ assimilation.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, nitrate reductase, vermicompost tea, leaves and fruit, yield

INTRODUCTION

The response of plants to nitrogen (N) application depends on the N content in the soil or organic substrates. In tomato plants, yield increases with moderate N treatments both in greenhouse and in field (Moreno *et al.*, 1999a), while strong N applications reduce yield (Adams *et al.*, 1978). Plant growth is dependent on an adequate N supply in order to form amino acids, proteins, nucleic acids, and other cellular constituents. For most plants, inorganic N is obtained from the soil in the form of nitrate (NO₃⁻). It has long been recognized that the rate-limiting step for N assimilation, the reduction of NO₃⁻ to nitrite (NO₂⁻) catalyzed by nitrate reductase (NR EC 1.6.6.1), is highly regulated (Solomonson and Barber, 1990). Nitrate availability, growth regulators, light, products of NO₃⁻ assimilation and other physiological and environmental parameters are all factors in regulation of NO₃⁻ assimilation (Crawford, 1995). Appropriate levels of NO₃⁻ derived from proper N fertilization increases the amount and activity of NR; this leads to a corresponding increase in the potential for NO₃⁻ reduction and confers a greater capacity for general amino-acid synthesis, protein synthesis, or total N assimilation (Friedman, 2004). In addition, it has been shown that plant growth and yield rates are often dependent on N supply (Mattson *et al.*, 1991). Nevertheless, excessive N

fertilization can be harmful, and NO_3^- accumulation is a problem in most crops (Steingröver *et al.*, 1982; Blom-Zandstra and Lampe, 1985). Leaf tissues accumulate NO_3^- when the rate of NO_3^- delivery exceeds the NO_3^- assimilation capacity (Mackown *et al.*, 1990). In addition, nitrogen fertilizers contribute to groundwater and surface-water pollution through leaching and soil erosion (Sisson *et al.*, 1991). On the other hand, the analysis of the nutrient concentration in plant tissues is a technique widely used to evaluate the nutritional status of plants; however, in some cases, the plants that grow in the same place differ in production due to fertilization, without reflecting differences in the concentration of elements (Bourret *et al.*, 2009). The activity of the enzyme NR, as the first enzyme that intervenes in NO_3^- assimilation is fundamental for plant life (Sagi *et al.*, 1998), in addition to being the key enzyme in the overall N-assimilation process (De la Haba *et al.*, 2001).

The aim of the present study was to determine both the effect of organic and conventional fertilization on two different genotypes of tomato plants as well as the behavior of some of its biochemical and physiological indicators.

MATERIALS AND METHODS

Crop Design

Two tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars (Cuauhtémoc and El Cid) were seeded in cell flats (cell size 3 x 3 x 10 cm) filled with peat-lite mixture and kept on benches under the greenhouse conditions described below, for a period of 8 weeks; seedlings were then transplanted and grown under five fertilization types (F1: sand + inorganic fertilizer; F2: sand + vermicompost tea to 10 % concentration; F3: mixture of sand: compost, 1:1 ratio, + vermicompost tea to 2.5 % concentration; F4: mixture of sand: vermicompost, 1:1

ratio, + vermicompost tea to 2.5 % concentration; F5: mixture sand: compost: vermicompost, 2:1:1 ratio, + vermicompost tea to 2.5 % concentration) and controlled conditions in an experimental greenhouse at Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México. The plants were transplanted on November 7, 2011 in 50 cm high pots (60 cm upper diameter and 50 cm lower diam.), and the cultivation ended at the close of April 2012. In this area, the climate is arid and the lands are intensively used for agriculture. The substrates and vermicompost tea chemical characteristics are summarized in table 1. In the greenhouse, the relative humidity was 60-80 % and the temperature range 24 ± 4 °C, with extremes of 15° and 34 °C. The experimental design was a factorial arrangement in a completely randomized (2x5) with 10 treatments, corresponding to the two tomato cultivars and five fertilization types. Each treatment was replicated twelve times. The irrigation water had the following properties: EC, 1.05 dS m⁻¹; pH, 7.8; Ca²⁺, 3.51; Mg²⁺, 0.48; K⁺, 0.22; Na⁺, 2.71 mmol L⁻¹; HCO₃⁻, 3.12; Cl⁻, 2.3; SO₄²⁻, 2.62 mmol L⁻¹. The rate of each nutrient to the control treatment was applied gradually with the irrigation water over the entire experimental period, summarized in table 2. The manure-based vermicompost (VC), which was provided by the vermicompost module of the UAAAN-UL, consisted of separated horse and goat solids (mixed in a 1:1 ratio by volume) with alfalfa (*Medicago sativa* L.), processed by earthworms (*Eisenia* spp.) in indoor beds (Atiyeh et al., 2000) for a period of 90 days (Bansal and Kapoor, 2000). The compost (C) was commercial provided by MaxCompost®. To prepare the vermicompost tea (VCT) 10 % of concentration, we applied the method recommended by Edwards *et al.* (2010), with a consistent variation in the bag with VC was introduced into a container with 20 L of water for 5 min to wash excess salts, before being subjected to oxygenation. In a container of 60 L of capacity,

we oxygenated 45 L of water with an air pump (Biopro: BP9891. Tiray® Technology Co Ltd) 2 h before entering the pouch with 4.5 kg of VC; oxygenation is performed continuously until completion of the process (24 h). In addition, we added 40 g of piloncillo or panela, a product made from sugarcane juice (*Saccharum officinarum* L.), unrefined (Solis-Pacheco *et al.*, 2006), as an energy source to promote the growth and development of microorganisms. The VCT was constant application throughout the cycle, and to preserve its quality it remained aerated for 24 h, for the treatment F2 was applied 0.5 L of VCT at 10 % of concentration for each pot, while for treatments F3, F4 and F5, the VCT was diluted to a 1:3 ratio using 1 L of VCT per 3 L of water to give a concentration of 2.5 %. This dilution was applied 1 L per pot. VCT pH was adjusted to a value of 5.5 with citric acid ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) food grade, applied to a concentration of 5 mM ($1.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) (Capulín-Grande *et al.*, 2007)

Fruit yield

Total yield was obtained from all replications. Results are expressed in Mg ha^{-1} and $\text{n}^\circ \text{fruits ha}^{-1}$.

Plant sampling

Leaf samples were standardized by using only plants with fully expanded leaves of the same size. Leaves were taken from the top third of the plant at the onset of flowering (77 day after transplant), and then 4 weeks later (105 days after transplant), from each pot. Leaves were rinsed once with running water, once with distilled water, and finally with deionised water. One portion of the plant material sampled (0.15 g of leaf) was used fresh for the analysis of the NR enzyme and Chlorophyll determination. The remaining

material was dried at room temperature in the shade and afterwards in an oven at 60 °C for 24 h. The samples, after being ground in a Wiley mill with a stainless-steel chamber using a size-20 screen, were prepared for the N determination.

Plant analysis

Chlorophyll, vegetative index, Fe index and alkaline index determination

To measure chlorophylls, we followed the procedure described by Wellburn (1994). The chlorophyll contents (a+b) were expressed as $\mu\text{g chlorophyll cm}^{-2}$ using Wellburn (1994) equations. The vegetative index, Fe and alkaline index were performed using the methodology development by Moreno *et al.* (1999b).

Assay and determination of the *in vivo* enzymatic activity of nitrate reductase

The *in vivo* NR activity (EC 1.6.6.1) was determined by the Jaworski (1971) assay. Leaves were cut into 5-mm sections (100 mg) and placed in 10 cm³ of incubation buffer (100 mM K-phosphate buffer, pH 7.5, and 1 % (v/v) propanol). The samples were infiltrated and the intracellular spaces of the tissues were flushed with buffer, using a vacuum (0.08 MPa). After 5 min, the vacuum was released and the samples were re-evacuated, incubated at 30 °C in darkness for 1h, and finally placed in a boiling water bath to stop the NR activity. The resulting nitrite concentration was determined spectrophotometrically at 540 nm in a reaction mixture containing 2 cm³ of extract, 2 cm³ of 1 % (m/v) sulfanylamide in 1.5 M HCl and 2 cm³ 0.02 % (m/v) N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride in 0.2 M HCl (NR+NO₃⁻) was determined following the same method but using a modified incubation buffer, containing 50 mM KNO₃. The

NR induced by NO_3^- (NR+ NO_3^-) was determined following the same method only using a modified incubation buffer, containing 50 mM KNO_3 . The NR induced by Mo (NR + Mo), and the NR induced by NO_3^- and Mo (NR+ NO_3^- +Mo), were also determined using a modification of the incubation buffer containing 20 mM NaMoO_4 and 50 mM KNO_3 plus 20 mM NaMoO_4 , respectively. The resulting NO_2^- concentration was also determined spectrophotometrically, and the NR activity was expressed as micromoles of NO_2^- per gram of fresh weight (fw) per hour.

Organic N determination

A subsample of 0.1 g dry weight was digested with sulphuric acid and H_2O_2 (Wolf , 1982). After dilution with deionised water, a 1 ml aliquot of the digest was added to the reaction medium (5% potassium sodium tartrate, 100 μM sodium phosphate and 5.4 % (w/v) sodium hydroxide) containing 15/0.03% (w/v) sodium alicylate/sodium nitroprusside and 5.35% (v/v) sodium hypochlorite. Samples were incubated at 37 °C for 45 min and organic N was measured by spectrophotometry at A630 as performed by Baethgen and Alley (1989). The results were expressed as a percentage.

Statistical analysis

All data were subjected to an analysis of variance. Differences between treatment means were compared using the LSD at the 0.05 probability level. Levels of significance were represented by * at $P < 0.05$, ** at $P < 0.01$, *** at $P < 0.001$ and NS: not significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Yield. Organic fertilizer and its utilization can be determining factors for yield (López-Cantarero *et al.*, 1997). There were significant differences among the five fertilization types (Table 3). The highest total yield was recorded for F1 (sand + inorganic fertilizers). On the other hand, the highest organic yield was recorded for F2, with values 16.45 % below control. The lowest overall yield was recorded for F5 (mixture of sand: C: VC + VCT), with values 48.76 % below control. F1 produced the greatest total number of fruits, and F5 the least, at 35.26 % below control. Yield and number of fruits did not differ between cultivars. Arancon *et al.* (2007) reported that humic, fulvic and other organics acids extracted or produced by microorganisms in VCT could induce plant growth and yield. Garcia-Martinez *et al.* (2002) investigated that water extract of compost contained a compound with molecular structure and biological activity analogous to auxins. Leachate from well decomposed compost has been shown to contain cytokinin-like substance, derived from hydrolysis of cyanogenic glucosides by the enzyme β -glucosidase produced by microbes (Arthur *et al.*, 2001). Although phytohormones or growth regulators in VCT were not measured in this study, we suggest they may play a greater role in plant responses.

Pigments. Chlorophyll concentrations are related to N fertilization (López-Cantarero *et al.*, 1994) and N foliar content (Haboudane *et al.*, 2002). The organic N foliar content was in the optimum levels in F1, F2 and F4 (Mills and Jones, 1996) at 77 DAT, while at 105 DAT, most of the substrates fell to low levels. On the other hand, levels of chlorophyll a (Table 4) were optimum in T1 and T2 (Moreno *et al.*, 1999a) at 77 DAT. Levels of chlorophyll b in F3 were low, while in F1 was high. For total chlorophyll (a

+ b) and the a:b ratio, most of the fell within the optimum range. For foliar carotene concentration, F1 and F4 fell within the optimum range.

Physiological indices. The physiological indices differ in relation to the optimum levels in the different cultivar and substrate. The vegetative index (IVe), provides information on the plant's metabolic activity through the growth cycle, when the different stages may occur in rapid succession (Moreno *et al.*, 1999b). IVe was high in F1 and F4 and suboptimum in F2 (Table 5) at 77 days after transplant (DAT). On the other hand, F5 registered the low interval. For the alkaline index (IAI) occupied the high level in F1, F2, F3, F4 and F5 at 77 DAT, while at 105 DAT F1 and F2 reached high levels and low levels in F4. The suboptimal range for this parameter was found in F3. The Fe index (IFe), was calculated from the Fe concentration and the P and K concentrations. IFe was in the optimum levels in most of the substrates at 77 DAT, while F1 presented the suboptimal level. At 105 DAT, all the substrates were in the optimum levels.

***In vivo* NR activity.** One of the major and limiting stages of NO_3^- assimilation is NR activity (Sivasankar and Oaks, 1996). Table 6 shows the values obtained in the *in vivo* assay of NR activity in leaves, with the highest activities at the F1 and F2 treatment, with an increase in activity of at least 36.29 % over value recorded at F5 (77 DAT). In contrast, the highest *in vivo* assay value was found in F2, with a 47.07 % increase over the lowest values recorded for F5. On inducing the enzyme NR with NO_3^- , the plants showed a clear need for this substrate, indicating higher NR activity in the five fertilization types.

These results coincide with those of Redinbaugh and Campbell (1991), and Crawford (1995) found that NR activity changed on altering the NO_3^- concentration in the growth medium. After the samples were infiltrated with molybdenum (Mo), the NO_2^- concentration increased, reflecting greater enzymatic activity when induced by Mo. This activity was even greater than that stimulated with nitrates, underlining the importance of the Mo cofactor for activating NR and for converting nitrates to nitrites (Zimmer and Mendel, 1999). These results coincide with those of Lavon and Goldschmidt (1999), where the infiltration with Mo directly affected NR activity. The values of NR activity induced with nitrates and infiltrated with Mo at the same time showed the general need of plants both for nitrates as well as for Mo, to activate the enzyme and thus make use of cellular N.

Taking into account the results of these experiments, we conclude that the most adequate organic fertilizer for tomato was F2. This treatment gave the greatest NO_3^- assimilation (maximal NR activity, and the second organic-N concentration), and the second high yield.

REFERENCES

- Adams, P., C. J. Graves and G.W Winsor. 1978. Tomato yield in relation to the Nitrogen, Potassium and Magnesium status of the plants and of the peat substrate. *Plant and Soil*. 49(1): 137-148. DOI: 10.1007/BF02149915.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Dick, R., Dick, L. 2007. Vermicompost tea production and plant growth impacts. *BioCycle* 48: 51-52.
- Arthur, G.D., Jäger, A.K., Van Staden, J. 2001. The release of cytokinin-like compounds from *Ginkgo biloba* leaf material during composting. *Environmental and Experimental Botany* 45, 55-61.
- Atiyeh R., M.; Arancon, N.; Edwards C., A., Metzger J. D. 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresour. Technol.* 75(3): 175-180. .

- Baethgen, W. E.; Alley, M. M. 1989. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20: 961-969.
- Bansal, S. and K. K. Kapoor. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresour. Technol.* 73: 95-98.
- Blom-Zandstra, M.; Lampe, J. E. M. 1985. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Latuca sativa* L.) grown at different light intensities. *J. Exp. Bot.* 36: 1043-1052.
- Bourret, M.M., J.E. Brummer and W.C. Leininger. 2009. Establishment and growth of two willow species in a riparian zone impacted by mine tailings. *Journal of Environmental Quality* 38: 693–701.
- Capulín-Grande J., R. Nuñez-Escobar., J. L. Aguilar-Acuña., M. Estrada-Botello., P. Sánchez-García., J. J. Mateo-Sánchez. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 13(1): 5-11.
- Castellanos J. Z y J. L. Ojodeagua. 2009. Formulación de la solución nutritiva. *In: Manual de producción de tomate en invernadero.* 131-156 pp. J Z Castellanos (Ed.). Intagri. México.
- Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell.* 7: 859.868.
- De la Haba, P., E. Agüera, L. Benitez and J.M. Maldonado. 2001. Modulation of nitrate reductase activity in cucumber (*Cucumis sativus*) roots. *Plant Science* 161:231–237.
- Edwards C. A., A. Askar., M. Vasko-Bennet., and N. Arancon. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. P 235 – 248. *In: Vermiculture Technology*, ed. C.A. Edwards, N. Arancon and R. Sherman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL
- Friedman, M. 2004. Applications of the ninhydrin reaction for analysis of amino acids, peptides, and proteins to agricultural and biomedical sciences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 385-406.
- García-Martínez, I., Cruz-Sosa, F., Larqué-Saavedra, A., Hernández-Soto, M. 2002. Extraction of auxin-like substances from compost. *Crop Research (Hisar)* 24(2): 323-327.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J., Dextraze, L., 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sens. Environ.* 81: 416–426.
- Joworski, E. G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. *Biochem Biophys. Res. Commun.* 43(6): 1274-1279. DOI: 10.1016/S0006-291X(71)80010-4.
- Lavon, R. and E.E. Goldschmidt. 1999. Enzymatic methods for detection of mineral element deficiencies in citrus leaves. *Journal Plant Nutrition* 22: 139-150.
- López-Cantarero, I., F. A. Lorente., and L. Romero. 1994. Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels?. *J. Plant. Nutr.* 17(6): 979-990. DOI: 10.1080/01904169409364782.
- López-Cantarero, I.; Ruiz, J. M.; Hernandez, J.; Romero, L. 1997. Nitrogen metabolism and yield response to increases in nitrogen-phosphorus fertilization:

- Improvement in greenhouse cultivation of eggplant (*Solanum melongena* cv. Bonica). *J. Agric. Food Chem.* 45: 4227-4231.
- Mackown, C. T.; Sutton, T. G.; Bush, L. P. 1990. Nitrogen compositional changes in xylem exudate and leaves of burley tobacco. *Crop Sci.* 30: 133-138.
- Mills, H. A., and J. B. Jones. 1996. *Plant Analysis Handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* 422 pp.
- Moreno, D. A., G. VÍllora., M. Baghour., J. M. Ruíz and L. Romero. 1999a. Fruit production in twelve tomato cultivars. *Phyton, Int. J. Exp. Bot.* 64: 41-44.
- Moreno, D. A., G. VÍllora., J. M. Ruiz., J. L. Valenzuela., and L. Romero. 1999b. Optimun range in tomato cultivars: III. Physiological parameters. *Phyton, Int. J. Exp. Bot.* 64: 57-62.
- Redinbaugh, M.G. and W.H. Campbell. 1991. Higher plants response to environmental nitrate. *Physiologia Plantarum* 82, 640-650.
- Sagi, M., A. Dovrat, T. Kipnis and H. Lips. 1998. Nitrate reductase, phosphoenolpyruvate carboxylase, and glutamine synthetase in annual ryegrass as affected by salinity and nitrogen. *Journal Plant Nutrition* 21:707-723.
- Sisson, V.A., Ruffy, T.W., Williamson, R.E., 1991. Nitrogen-use efficiency among flue-cured tobacco genotypes. *Crop Sci.* 31, 1615±1620.
- Sivasankar, S., and A. Oaks. 1996. Nitrate assimilation in higher plants: the effect of metabolites and light. *Plant Physiol and Biochemistry* 34:609–620.
- Solís-Pacheco, J. R., F. Pérez-Martínez, I. Orozco-Ávila, J. L. Flores-Montaña, E. Ramírez-Romo, A. Hernández-Rosales and B. Aguilar-Uscanga. 2006. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis.* 4(1): 1-8
- Solomonson, L. P., and M. J. Barber. 1990. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. *Ann. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 41: 225-253. DOI: 10.1146/annurev.pp.41.060190.001301.
- Steingröver, E.; Oosterhuis, R.; Wieringa, F. 1982. Effect of light treatment and nutrition on nitrate accumulation in spinach (*Spinacea oleraceae* L.). *Z. Pflanzenphysiol.* 107: 97-102.
- Wellburn AR. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J Plant Physiol* 144(3):307-313.
- Wolf, B. A. 1982. Comprehensive system of leaf analysis and its use for diagnosing crop nutrients status. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13: 1035-1059.
- Zimmer W. and R. Mendel. 1999. Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biology* 1:160–168.

Table 1. Chemical analysis of compost, vermicompost and vermicompost tea.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	EC
	(%)						(mg kg ⁻¹)				(dS cm ⁻¹)
C	2.41	1.19	3.36	8.76	0.94	0.57	5920	260	160	8.5	6.7
VC	1.27	0.15	0.88	6.92	0.6	0.1	7090	330	210	7.9	2.4
VCT	0.83	0.49	0.71	3.23	0.75	0.2	2.4	0.5	1.58	8.0	2.0

C = compost; VC = vermicompost; VCT = vermicompost tea; EC = electrical conductivity.

Table 2. Nutrient solution for three developmental stage of tomato (Castellanos and Ojo de Agua, 2009).

Ion	Stage 1	Stage 2	Stage 3
	1 st Fruit setting	1 st - 3 th Fruit setting	3 th - 5 th Fruit setting
mmol L ⁻¹			
NO ₃ ⁻	6	8	10
NH ₄ ⁺	0-0.5	0-0.5	0.05
H ₂ PO ₄ ⁻	1.5	1.5	1.5
K ⁺	3.5	5.5	7
Ca ²⁺	4	4	4
Mg ²⁺	1	1.5	2
SO ₄ ²⁻	1.5 a 3	1.5 a 3	1.5 a 3
HCO ₃ ⁻	1	1	1
Na ⁻	<5	<5	<5
Cl ⁻	1 a 3	1 a 3	3 a 5
EC	1.4	1.8	2.2

EC = electrical conductivity.

Table 3. Yield and number of fruits per hectare of two tomato cultivars under organic and conventional fertilizer.

Cultivar	Yield (Mg ha ⁻¹)	Number of Fruits ha ⁻¹
Cuauhtémoc	52.47 a *	613076 a
El Cid	55.64 a	640768 a
Fertilization type		
F1	76.28 a	775000 a
F2	63.73 b	62500 b
F3	51.07 c	665000 b
F4	50.77 c	616680 b
F5	39.06 d	501680 c

*Values followed by different letters are significantly different

Table 4. Influence of organic and conventional fertilizer on foliar pigments and organic nitrogen.

Cultivar/77 DAT	N (%)	Chl a	Chl b	Chl a+b	Chl a/b	Carotenes
Cuauhtémoc	3.14 a	0.016	0.014	0.030	1.143	0.015 a
El Cid	2.60 b	0.014	0.011	0.025	1.273	0.013 b

Fertilization						
F1	3.43 a	0.018	0.017	0.035	1.059	0.017 a
F2	3.36 b	0.014	0.013	0.027	1.077	0.013 d
F3	1.81 e	0.012	0.011	0.023	1.091	0.011 e
F4	3.14 c	0.017	0.016	0.033	1.063	0.016 b
F5	2.75 d	0.015	0.014	0.029	1.071	0.014 c
Cultivar/105 DAT						
Cuauhtémoc	2.16 b	0.017	0.014	0.031	1.214	0.015 a
El Cid	2.62 a	0.014	0.013	0.027	1.077	0.014 b
Fertilization						
F1	1.16 a	0.014	0.013	0.027	1.077	0.015 b
F2	0.83 c	0.017	0.015	0.032	1.133	0.016 a
F3	0.94 b	0.016	0.013	0.029	1.231	0.014 c
F4	0.62 e	0.018	0.015	0.033	1.200	0.016 a
F5	0.63 d	0.012	0.012	0.024	1.000	0.012 d

*Values followed by different letters are significantly different. Chlorophyll a (Chl a, $\mu\text{g cm}^{-2}$); Chlorophyll b (Chl b, $\mu\text{g cm}^{-2}$); Carotenes ($\mu\text{g cm}^{-2}$).

Table 5. Influence of organic and conventional fertilizer on certain physiological indicators.

Cultivar/77 DAT	Vegetative Index (Ive)	Alkaline Index (IAC)	Fe Index (Fe.-I)
Cuauhtémoc	1.05 a	1.74 b	1.92 a
El Cid	1.04 b	1.86 a	1.07 b
Fertilization			
F1	1.20 a	2.25 a	0.99 e
F2	1.04 c	1.59 d	1.15 c
F3	0.97 d	1.81 d	1.07 d
F4	1.15 b	2.06 b	1.17 b
F5	0.87 e	1.30 e	1.28 a
Cultivar/105 DAT			
Cuauhtémoc	0.74 b	1.17 b	1.15 a
El Cid	0.91 a	1.51 a	1.11 b
Fertilization			
F1	1.16 a	1.84 b	1.20 b
F2	0.83 c	2.12 a	1.10 d
F3	0.94 b	1.14 c	1.03 e

F4	0.62 e	0.83 d	1.11 c
F5	0.63 d	0.76 e	1.21 a

Table 6. Influence of organic and conventional fertilizer on *in vivo* initial NR activity and on the NR activity in presence of 50 mM NO₃⁻ (NR+NO₃⁻), 20 mM Mo (NR+Mo) and 50 mM NO₃⁻ and 20 mM Mo (NR+NO₃⁻+Mo) [$\mu\text{mol (nitrite) g}^{-1} (\text{f.w}) \text{ h}^{-1}$] in leaves of tomato.

Cultivar/77 DAT	Endogenous NR	NR+NO ₃ ⁻	NR+Mo	NR+NO ₃ ⁻ +Mo
Cuauhtémoc	2.19 b	17.47 b	28.93 b	33.31 a
El Cid	2.60 a	19.54 a	29.79 a	29.30 b
Fertilization				
F1	2.70 b	21.92	25.00 a	34.04 c
F2	3.25 a	16.94 d	27.50 b	31.64 d
F3	2.17 c	20.12 c	27.84 c	37.98 a
F4	2.14 d	21.88 b	33.12 b	34.25 b
F5	1.72 e	11.69 e	33.36 a	18.63 e
Cultivar/105 DAT				
Cuauhtémoc	0.63 a	30.11 a	30.27 b	42.42 b
El Cid	0.41 b	24.69 b	36.08 a	45.51 a
Fertilization				
F1	0.81 a	37.34 a	36.09 b	48.86 a
F2	0.15 e	34.47 b	25.35 e	44.01 b
F3	0.66 b	15.89 e	32.57 c	41.43 e
F4	0.63 c	20.49 d	32.31 d	42.16 d
F5	0.36 d	28.83 c	39.59 a	43.37 c

The results on LSD test is presented with lowercase letters.

APÉNDICE

**Anexo 1. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista
Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.**



*Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Agrarias*

----- La Directora Científica de la Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (JCR - ex ISI), Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini deja constancia que el **M. Sc. César Márquez Quiroz** de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, es autor del artículo "**Impacto del té de vermicompost sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en chile jalapeño bajo condiciones protegidas**", el cual ha sido presentado en esta Revista, con fecha 24 de setiembre de 2012.-----

----- Se extiende esta constancia para ser presentada ante quien corresponda en Chacras de Coria, Mendoza, Argentina, a los 13 días del mes de noviembre de dos mil doce-----

*Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini
Directora Científica
Rev. de la Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo*

Almirante Brown 500
Chacras de Coria - Luján de Cuyo
Mendoza - Argentina
M5528AHB

<http://revista.fca.uncu.edu.ar>

PBX (54 261) 4135000 Int. 1220
Fax (54 261) 4960469
ccea@fca.uncu.edu.ar

Anexo 2. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista Facultad de Ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.



*Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Agrarias*

----- La Directora Científica de la Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (JRC – ex ISI), Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini deja constancia que el **M. Sc. César Márquez Quiroz** de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, es autor del artículo “**Impacto del té de vermicompost sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas**”, el cual ha sido presentado en esta Revista, con fecha 24 de septiembre de 2012.-----

----- Se extiende esta constancia para ser presentada ante quien corresponda en Chacras de Coria, Mendoza, Argentina, a los 13 días del mes de noviembre de dos mil doce-----

*Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini
Directora Científica
Rev. de la Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Cuyo*

Almirante Brown 500
Chacras de Coria – Lujan de Cuyo
Mendoza – Argentina
MSS28AHB

<http://revista-fca.uncu.edu.ar>

PBX (54 261) 41350000 Int. 120
Fax (54 261) 4960469
ccea@fca.uncu.edu.ar

Anexo 3. Constancia de Recepción del Artículo Enviado a la Revista ITEA.

Imprimir mensaje - Hotmail

<https://blu150.mail.live.com/mail/PrintMessages.aspx?cpids=a8b60877-4...>

[ITEA] Envío recibido

De: **Clara M^a Marín Alcalá** (recyt@recyt.fecyt.es)
Enviado: martes, 25 de diciembre de 2012 07:22:09 p.m.
Para: César Márquez-Quiroz (cesar_quiroz23@hotmail.com)

César Márquez-Quiroz:

Hemos recibido su manuscrito "Fertilización orgánica: alternativa para incrementar el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette bajo condiciones protegidas" para ITEA-Información Técnica Económica Agraria. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA/author/submission/19890>

Nombre de usuario: cesar_quiroz23

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Clara M^a Marín Alcalá
ITEA-Información Técnica Económica Agraria
Comite de Redacción de ITEA

ITEA

<http://recyt.fecyt.es/index.php/ITEA>

[Mensaje enviado a través de RECYT, por favor no responda directamente, si necesita contactar con la persona que le envió este mensaje identifíquese en <http://recyt.fecyt.es/> y hágalo desde la plataforma. Para cualquier duda escriba a infoecyt@fecyt.es]

[This message was sent from RECYT, please do not respond to this email. If you would like to contact the person who sent this message, please log in to <http://recyt.fecyt.es> and email him from there. If you have any questions don't hesitate to email us at infoecyt@fecyt.es]