

Origen, Importancia y Aplicación de Vermicomposta para el Desarrollo de Especies Vegetales

Alejandro Moreno Reséndez^{1*}

¹Depto. Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL. Periférico y Carretera a Santa Fé s/n. Torreón, Coahuila, México. CP 27059. E-mail: alejamorsa@yahoo.com.mx (*Autor responsable).

Abstract

Nowadays, evidences exist that a diversity of earthworm species like *Eisenia fetida* Savigny, *Eisenia andrei* Bouché, *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, and *Perionyx excavatus* Perrier can live outside their natural habitat. These species have a high capacity to adapt and to reproduce themselves, a voracious appetite, and a great growth rate because they take advantage of diverse organic residues like manure, urban and agro-industrial slug, food and garden residues, as sources of elements and energy to satisfy their nutritional demands. As a result of their metabolic process, the earthworms use, approximately, 40% of the insumed materials for their vital functions, and expel the rest as excrete, which receives the name of vermicompost or earthworm humus. The effects of vermicompost, as an organic fertilizer in the cultures, has been studied under greenhouse conditions, replacing the traditional commercial growth means used like substrates and, only to a certain degree, under field conditions. The described results show that the commercial means of growth, that in a traditional way are used in the greenhouses for the development of cultures, can be replaced by mixtures that include different proportions of vermicompost and sand.

Key words: *Eisenia fetida*, means of growth, earthworm humus, vermicompost, organic agriculture.

Resumen

Hoy en día existen evidencias de que diversas especies de lombrices de tierra como la *Eisenia fetida* Savigny, *Eisenia andrei* Bouché, *Lumbricus rubellus* Hoffmeister y *Perionyx excavatus* Perrier pueden vivir fuera de su hábitat natural. Estas especies tienen elevada capacidad para adaptarse y reproducirse, apetito voraz y gran velocidad de crecimiento debido a que aprovechan diversos residuos orgánicos como el estiércol, lodos urbanos y agroindustriales, residuos de comida y de jardín como fuentes de elementos y energía para satisfacer su demanda alimenticia. Como resultado de su proceso metabólico, las lombrices utilizan, aproximadamente, el 40% de los materiales consumidos para sus funciones vitales y el resto lo expulsan como excretas, las cuales reciben el nombre de vermicomposta o humus de lombriz. Los efectos de la vermicomposta como abono orgánico en los cultivos han sido estudiados bajo condiciones de invernadero sustituyendo a los medios de crecimiento comercial que de manera tradicional se utilizan como sustratos y solo en cierto grado bajo condiciones de campo. Los resultados descritos determinaron que los medios de crecimiento comerciales, que de manera tradicional se utilizan en los invernaderos para el desarrollo de los cultivos, pueden ser sustituidos por mezclas que incluyan diferentes proporciones de vermicomposta y arena.

Palabras clave: *Eisenia fetida*, medios de crecimiento, humus de lombriz, composta, agricultura orgánica.

Introducción

Entre los métodos disponibles para realizar el reciclaje de los residuos orgánicos se encuentra el proceso de formación de composta (PFC), definido por Wescott (1998) como: “la degradación controlada de residuos sólidos orgánicos, para generar un producto que se puede utilizar como acondicionador del suelo”. El PFC consiste en la oxidación biológica acelerada de la materia orgánica

conforme pasa a través de una etapa termofílica (45 a 65 °C) (Atiyeh *et al.*, 2000a; Raviv, 2005). Sin embargo, para facilitar la descomposición de los residuos orgánicos se ha empleando otro proceso biológico similar, que excluye la etapa termofílica e incluye el empleo de lombrices de tierra, el cual recibe el nombre de proceso de formación de vermicomposta (PFVC) (Atiyeh *et al.*, 2000a; Valadares-Veras y Povinelli, 2004; Contreras – Ramos *et*

al., 2005). El PFVC debe realizarse a temperaturas menores a 35 °C, ya que la exposición de las lombrices a mayores temperaturas, incluso durante cortos períodos de tiempo, provoca su muerte (Valadares-Veras y Povinelli, 2004).

Además de participar en el PFVC, la actividad de las lombrices es de gran importancia para las plantas. Así pues, diversos estudios de laboratorio, invernadero y de campo, han demostrado que las lombrices y la vermicomposta (VC) que generan, juegan un papel clave para el ciclo de los elementos nutritivos, particularmente respecto a: a) la velocidad y la variabilidad espacial de la descomposición de los residuos; b) el desarrollo de las plantas, al mejorar las características del suelo y de los sustratos empleados como medios de crecimiento; c) la porosidad del suelo y la estructura de los agregados; d) la velocidad de infiltración y la retención de humedad; e) la regulación de otros organismos, particularmente sobre la composición, la biomasa y la actividad de las comunidades microbianas; y f) la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas, al incrementarse la capacidad de absorción de los elementos nutritivos (Muscolo *et al.*, 1999; Rasmussen, 1999; Brown *et al.*, 2000; Shuster *et al.*, 2000; Gajalakshmi *et al.*, 2001; Whalen y Costa, 2003).

Por lo anteriormente señalado se pretende describir la participación de las lombrices sobre la transformación de diversos residuos orgánicos, originando la vermicomposta (VC) así como resaltar sus características físico-químicas y biológicas, e identificar los efectos que este material provoca sobre el desarrollo de los cultivos cuando se ha empleado como abono orgánico o componente de los sustratos de crecimiento

Origen de la vermicomposta o humus de lombriz

La descomposición de los residuos orgánicos, bajo condiciones ambientales variables, es una característica fundamental de los ecosistemas terrestres. En el PFVC las interacciones complejas entre residuos orgánicos, microorganismos, lombrices y otros organismos de la fauna del suelo provocan la oxidación biológica y estabilización de dichos residuos, provocando igualmente su descomposición. El PFVC soporta complejas cadenas alimenticias, y al mismo tiempo, modifica las formas químicas de los compuestos contenidos en los materiales orgánicos, los cuales son importantes para la dinámica de los elementos nutritivos (Domínguez *et al.*, 2003).

La vermicomposta (VC) es un tipo de composta (Soto y Muñoz, 2002) en la cual diversas lombrices de tierra, e.g., *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, *Perionyx excavatus*, transforman residuos orgánicos en subproductos estables (Atiyeh *et al.*, 2001; Chaudhuri *et*

al., 2003). La VC se genera en el tubo digestor de la lombriz, y de acuerdo al uso que se destine, se puede clasificar como: fertilizante orgánico, mejorador del suelo y medio de crecimiento (MC) para el desarrollo de las plantas bajo condiciones de invernadero (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c, 2001, 2002; Brown *et al.*, 2000; Buck *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2000; Gajalakshmi *et al.*, 2001).

Papel de las lombrices en la generación de vermicomposta

La importancia de las lombrices para los sistemas del suelo y la formación de su estructura fue reconocida desde tiempos de Carlos Darwin, y hoy en día un número importante de investigadores se han enfocado al estudio de la actividad de estos organismos en los ecosistemas del suelo (Six *et al.*, 2004). Lo anterior se debe a que existen evidencias de que las lombrices de tierra provocan efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos sobre los suelos, los cuales repercuten favorablemente sobre el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los sistemas controlados (Atiyeh *et al.*, 2001; Gunadi *et al.*, 2002; Valadares-Veras y Povinelli, 2004).

Las lombrices son consumidoras voraces de residuos orgánicos, de los cuales sólo utilizan una pequeña porción, aproximadamente 40% del material ingerido es absorbido para la síntesis de sus cuerpos, su crecimiento y su actividad metabólica, el resto lo excreta en una forma medio digerida (Ghosh *et al.*, 1999; Sharma *et al.*, 2005). Los materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de humus de lombriz (HL), o VC, en un período de tiempo relativamente corto (Ghosh *et al.*, 1999). Durante el proceso de alimentación, las lombrices fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana (Ndegwa y Thopmson, 2001; Domínguez *et al.*, 2003) y los índices de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos (Brown *et al.*, 2000), alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de humificación (Atiyeh *et al.*, 2000a). Como resultado de esta actividad, las lombrices generan abonos orgánicos, o biofertilizantes, de alta calidad (Sharma *et al.*, 2005).

Mientras los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica (MO) en el PFVC, las lombrices son importantes para acondicionar el sustrato y para promover la actividad microbiana (Brown *et al.*, 2000). Las lombrices actúan como batidoras mecánicas, desintegran el material orgánico, incrementan el área superficial de los residuos que se expone a los microorganismos y mueven los fragmentos y los

excrementos ricos en bacterias, homogenizando el material orgánico (Domínguez *et al.*, 2003). El conjunto formado por las lombrices, la microflora que vive en sus intestinos, y los organismos del sustrato de crecimiento, incrementan el proceso de descomposición de los sustratos (Ndegwa y Thompson, 2001).

Adicionalmente, la actividad de las lombrices en el PFVC es tanto física, como mecánica, y bioquímica (Ndegwa *et al.*, 2000; Sharma *et al.*, 2005). La participación física consiste en la degradación de los substratos orgánicos provocando su fragmentación. Los procesos mecánicos incluyen la aireación, mezclado, y molienda del substrato (Buck *et al.*, 2000; Mangrich *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000; Sharma *et al.*, 2005). Por su parte, los cambios bioquímicos en la descomposición de la MO son realizados a través de la digestión enzimática, enriquecida por el N excretado y el transporte de materiales orgánicos e inorgánicos (Sharma *et al.*, 2005). Además, el proceso bioquímico es afectado por la descomposición microbiana de los residuos en el intestino de las lombrices (Buck *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000). A diferencia del tratamiento microbiano tradicional de los residuos, el PFVC provoca la conversión biológica de los desechos en dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y la VC (Ghosh *et al.*, 1999; Ndegwa *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2001).

Materias primas utilizadas en la generación de vermicomposta

De acuerdo con Atiyeh *et al.* (2000b) el principio del PFVC se origina en el supuesto de que, la aplicación de lombrices a los residuos orgánicos puede acelerar la estabilización de estos materiales en términos de descomposición y mineralización de la MO, generando un medio más apropiado para el crecimiento de la planta. El PFVC, favorecido por la actividad de las lombrices y como método de reciclaje, es ideal para el tratamiento tanto de las deyecciones animales, como de los residuos urbanos de tipo orgánico, ya que, además de favorecer la producción de abonos orgánicos de calidad (Ghosh *et al.*, 1999; Ramesh *et al.*, 2005), evita la contaminación del ambiente (Castillo *et al.*, 2000). Gunadi y Edwards (2003) señalan que las clases principales de residuos orgánicos apropiados para el PFVC son de origen animal, vegetal y urbano.

En el PFVC, debido a la capacidad de las lombrices, se puede lograr la descomposición de diversos materiales como: biosólidos o lodos de aguas negras, residuos de animales, de cultivos y desechos industriales orgánicos (Atiyeh *et al.*, 2000a). De hecho, el mezclado de los biosólidos con otros materiales, e.g. residuos de jardín, residuos de alimentos, pulpa de papel periódico u otros

residuos ricos en carbono, pueden acelerar su descomposición, debido a la maceración y al mezclado de tales materiales durante su paso a través del intestino de las lombrices y su transformación en VC (Domínguez *et al.*, 2000).

Para el desarrollo y crecimiento de las lombrices se han utilizado diversos materiales entre los cuales destacan: estiércoles de ganado vacuno, equino y porcino y estiércol de patos (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2001, 2002; Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato, 2002; Gunadi y Edwards, 2003; Sharma *et al.*, 2005), de aves de corral, cunicula y ovinos (Mangrich *et al.*, 2000; Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato, 2002), incluso se han utilizado residuos de plantas como pastos compostados, recortes de pastos, malezas de ríos, de cultivos, café molido (Domínguez *et al.*, 2000; Gunadi y Edwards, 2003; Sharma *et al.*, 2005) y residuos municipales tal como aserrín, biosólidos, y sobrantes de restaurantes y supermercados (Benitez *et al.*, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000a; Domínguez *et al.*, 2000; Ndegwa y Thompson, 2000; Ndegwa y Thompson, 2001; Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato, 2002; Gunadi y Edwards, 2003; Contreras-Ramos *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2005).

El efecto físico-químico y biológico de las lombrices sobre los materiales sometidos al PFVC es significativo. Por ejemplo la inoculación de las lombrices *Eisenia andrei* al estiércol fresco de vaca, durante cuatro meses, provocó la reducción del pH del estiércol. Por su parte, la relación C:N del estiércol con o sin lombrices disminuyó de 36 a 21. En cambio, el contenido de cenizas y de N total se incrementó en las siguientes semanas después de la inoculación, reflejando una rápida descomposición de los carbohidratos y la mineralización del N. Una semana después de la inoculación, la evolución del CO₂ disminuyó rápidamente (44%), y alcanzó una concentración más baja en la semana 17 (51% de reducción comparado con el 22% sin lombrices), indicando una creciente estabilidad de la MO. Las lombrices redujeron la biomasa microbiana inicial del proceso, pero incrementaron la mineralización del N e incrementaron los índices de conversión del N amoniaco a nitrato (Atiyeh *et al.*, 2000b).

Como resultado de la comparación de seis diferentes sustratos (100% paja de avena agotada en el cultivo de hongos comestibles, 100% estiércol de ganado bovino, 100% desechos orgánicos de mercado, mezcla 50% estiércol y 50% desechos orgánicos de mercado, mezcla 50% desechos orgánicos de mercado y 50% paja y mezcla 30% estiércol, 30% desechos orgánicos de mercado y 40% paja) utilizados para evaluar la dinámica poblacional de las lombrices *Eisenia andrei*, Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato (2002) concluyeron que los desperdicios orgánicos de mercado son un excelente sustrato

alimenticio para este tipo de lombrices, ya que en sólo cuatro meses obtuvieron un incremento superior a 1200% en el número de lombrices. Por otro lado, aunque una amplia gama de materiales, principalmente diferentes tipos de estiércol, se han utilizado para el crecimiento y desarrollo de las lombrices, Gunadi y Edwards (2003) determinaron que no es recomendable el uso de estiércoles frescos de ganado vacuno y de cerdos, pues bajo estas condiciones la temperatura de las camas tiende a incrementarse, afectando su supervivencia.

Como se mencionó anteriormente, los biosólidos o lodos de aguas negras también pueden ser transformados biológicamente por la acción de las lombrices. En este proceso, las lombrices e.g. *Eisenia fetida*, ingieren biosólidos, los descomponen y los estabilizan, convirtiéndolos en materiales inocuos. Durante el proceso los olores inaceptables de los lodos desaparecen rápidamente. Además existe una reducción significativa de poblaciones de microorganismos patógenos como *Salmonella enteriditis*, *E. coli* y otras Enterobacterias (Domínguez *et al.*, 2000).

Características de la vermicomposta

El incremento en el crecimiento y en la productividad de las especies vegetales, tanto en los sistemas de producción a cielo abierto como en los sistemas controlados, reportado en diversos estudios, se ha atribuido a las características físicas, químicas y biológicas que presenta la VC (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c, 2002). Esto se debe a que la VC generada a partir de la actividad de las lombrices, es un fertilizante orgánico estabilizado, posee una gran capacidad de retención de humedad, con efectos adhesivos para el suelo y de estimulación para el crecimiento de la planta, más apropiado para las aplicaciones agrícolas, y ambientalmente favorable (Sharma *et al.*, 2005). Se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa la velocidad de mineralización del N y los índices de conversión del N- NH_4^+ a N- NO_3^- (Atiyeh *et al.*, 2000b, 2000c, 2002).

Dentro de las características físicas que presenta la VC destacan las siguientes: es un material de color oscuro por la presencia de sustancias húmicas (Pereira y Zuzzi-Arruda, 2003) con agradable olor a mantillo de bosque, que se encuentra finamente dividido como la turba, debido a la actividad de fragmentación que realizan las lombrices (Sharma *et al.*, 2005); presenta una elevada porosidad, aireación, drenaje, capacidad de retención de humedad (Canellas *et al.*, 2002) aumentando la retención hídrica (4 – 27%) (Canellas *et al.*, 2002; Pereira y Zuzzi-Arruda, 2003) disminuyendo el consumo de agua por los cultivos. Además, la VC posee una gran área superficial (Pereira y Zuzzi-Arruda, 2003; Sharma *et al.*, 2005), que le permite

poseer una fuerte capacidad de adsorción y de retención de elementos nutritivos (Atiyeh *et al.*, 2000b). También mejora las características estructurales del suelo (Canellas *et al.*, 2001), desligando suelos arcillosos y agregando suelos arenosos.

Por otro lado, la VC presenta las siguientes características químicas: es rica en MO total y baja conductividad eléctrica (Sharma *et al.*, 2005), contiene elementos nutritivos en formas fácilmente asimilables por las especies vegetales, tales como nitratos, P intercambiable, K, Ca y Mg en formas solubles (Ndewga y Thopmson, 2001; Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c, 2002; Canellas *et al.*, 2002; Sharma *et al.*, 2005). Posee un pH neutro (Atiyeh *et al.*, 2000a). Amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo. Incrementa la superficie activa de las partículas minerales aumentando la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos (Atiyeh *et al.*, 2000a, Atiyeh *et al.*, 2002; Pereira y Zuzzi-Arruda, 2003, Pereira y Zuzzi-Arruda, 2004; Contreras-Ramos *et al.*, 2005). La elevada CIC se debe a la presencia de grupos carbonilos e hidroxilos fenólicos y alcohólicos, entre otros, y a la presencia de ácidos húmicos y fúlvidos (Pereira y Zuzzi-Arruda, 2004), los cuales ayudan en la regeneración de las características químicas del suelo favoreciendo el desarrollo de las especies vegetales, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento (Sharma *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista biológico, la VC utilizada a dosis adecuadas, incrementa la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas, contienen una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos como los reguladores y hormonas de crecimiento y diversas substancias húmicas (Sharma *et al.*, 2005), controla y regula la incidencia de plagas y enfermedades, así como la presencia de organismos patógenos (Ndewga y Thompson, 2001; Contreras-Ramos *et al.*, 2005) e.g., *Salmonella enteriditis*, *Escherichia coli* y otras Enterobacterias (Domínguez *et al.*, 2000), los cuales son nocivos para el hombre, e incrementa la actividad de las micorrizas (Atiyeh *et al.*, 2002). Adicionalmente, favorece e incrementa la actividad biótica del suelo (Domínguez *et al.*, 2003). Debido a su bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo. Durante el transplante previene enfermedades que afectan a las plantas y evita el choque por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.

Sharma *et al.* (2005) destacan que la VC contiene enzimas tales como proteasas, amilasas, lipasas, celulasas

y quitinasas, las cuales una vez que son expulsadas del intestino de las lombrices continúan desintegrandola materia orgánica. Las enzimas son de gran importancia debido a que su presencia acelera el proceso de humificación (Cruz-Rodrigues *et al.*, 2003) y la formación de VC (Quintero-Lizaola *et al.*, 2003).

La acción antibiótica de la VC aumenta la resistencia de las plantas contra plagas, enfermedades y organismos patógenos. La VC se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra libre de nemátodos, pues estos organismos se reducen drásticamente en presencia de las lombrices (Domínguez *et al.*, 2003). Las propiedades fisicoquímicas y biológicas de la VC parecen ser de mejor calidad que las de los materiales que dan origen a este abono orgánico (Ghosh *et al.*, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000b; Gajalakshmi *et al.*, 2001). En consecuencia, la VC está considerada como un excelente producto, tiene un reducido nivel de contaminantes y tiende a retener un mayor número de elementos nutritivos durante un período más largo, sin impactar el ambiente (Sharma *et al.*, 2005).

Por lo anteriormente señalado, hoy en día se reconoce por diversos autores que el empleo de la VC puede tener un gran potencial en las industrias agrícolas y hortícolas al utilizarse como sustrato, o como abono, para el desarrollo y crecimiento de diversas especies vegetales, ya que produce mejoras significativas en su aspecto, sanidad y rendimiento, además de incrementar significativamente los niveles de fertilidad del suelo (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c; Castillo *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2004).

La vermicomposta y el desarrollo de especies vegetales

Promoción de crecimiento. El interés por utilizar las lombrices como un sistema ecológicamente sano para manejar el estiércol se ha incrementado, debido a la nueva reglamentación que restringe la incorporación directa del estiércol al suelo. En respuesta a dicha normatividad, diversos investigadores han estudiado la utilización potencial de la VC dentro de la industria agrícola y hortícola (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c). Los resultados obtenidos han demostrado que la aplicación de VC ha incrementado el crecimiento y desarrollo de las plántulas y la productividad de una amplia gama de cultivos. El incremento en el crecimiento y productividad de las plantas se ha atribuido a las características físicas y químicas que presenta la VC (Atiyeh *et al.*, 2000b).

Los efectos de la VC sobre el crecimiento de diversos cultivos incluyendo cereales y leguminosas, especies vegetales, plantas ornamentales y florales ha sido evaluado bajo condiciones de invernadero y en un menor grado bajo condiciones de campo (Atiyeh *et al.*, 2002). En ensayos

de invernadero, el crecimiento de plántulas de maravilla (caléndula, (*Tagetes patula*) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se incrementó significativamente al sustituir el medio de crecimiento comercial Metro-Mix 360 con 10 o 20% de desechos de cerdo o de residuos de alimentos vermicompostados, cuando todos los requerimientos nutritivos fueron suministrados por medio de soluciones nutritivas (Atiyeh *et al.*, 2000a).

La VC generada a partir de estiércol de ganado vacuno, estimuló el crecimiento de las plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en comparación con el estiércol a partir del cual se generó ésta. Esto sugiere que las lombrices incrementaron la maduración de los residuos orgánicos. Por lo tanto, el incremento en el crecimiento de las especies vegetales podría deberse a las características fisicoquímicas más favorables de los residuos procesados y al más alto contenido de N-NO₃⁻, una forma de N que es fácilmente disponible para las plantas, o también podría deberse a que el estiércol vermicompostado puede actuar como un fertilizante de lenta liberación (Atiyeh *et al.*, 2000b).

Los estudios desarrollados con VC han demostrado consistentemente, que los residuos orgánicos sometidos al PFVC tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de la planta independientemente de las transformaciones y la disponibilidad de los elementos nutritivos. Así, cuando la VC se ha utilizado como mejorador del suelo o como componentes de los MC hortícolas, se ha mejorado la germinación de las semillas, el crecimiento y desarrollo de las plántulas, y una creciente productividad de la planta (Atiyeh *et al.*, 2000a, 2000b, 2000c, 2002). En correspondencia a lo anterior, Atiyeh *et al.* (2002) señalan que la mayor respuesta de crecimiento y de rendimiento de las plantas se ha presentado cuando la VC constituye una proporción relativa (10 - 40%) del volumen total del medio de crecimiento. Las posibles variables asociadas con el hecho de que la VC pueda ser en parte responsable del incremento en el crecimiento de los cultivos, incluyen la fertilidad, el ajuste del pH, las propiedades físicas del sustrato, la actividad microbiana y los componentes de la materia orgánica (McGinnis *et al.*, 2004).

Por lo anteriormente descrito, parece muy probable que la VC, que consiste de una amalgama de heces de lombrices humificadas y MO, estimulan el crecimiento de la planta más allá del generado por los elementos nutritivos minerales, debido a los efectos de las sustancias húmicas presentes en éstas o debido a los reguladores de crecimiento de la planta asociados con los ácidos húmicos (Atiyeh *et al.*, 2002).

Efecto sobre rendimiento. Atiyeh *et al.* (2000b) al

sustituir el medio de crecimiento comercial “Metro – Mix 360” con 20 % de VC de estiércol de cerdo, concluyeron que además de mejorar el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), también se logró incrementar significativamente su rendimiento bajo condiciones de invernadero, con una producción de 5.1 kg planta⁻¹. Este valor resultó 58% más alto que el rendimiento del testigo (Metro – Mix 360 sin VC).

Como resultado de la aplicación de la VC y la inoculación con el hongo endomicorrízico arbuscular *Glomus intraradix* y la bacteria *Azospirillum brasilense* sobre la producción de tomate de cáscara, Velasco-Velasco *et al.* (2003) concluyeron que la adición de VC, sola o combinada con *G. intraradix* y *A. brasilense*, provocó efectos positivos sobre la tasa fotosintética, la acumulación de materia seca y el rendimiento de tomate de cáscara. Además señalaron que el tratamiento que incluía la combinación de VC + *G. intraradix*, superó al testigo en peso seco total en 120% y en rendimiento en 26%.

Por su parte, los resultados de la prueba de campo en Juchitepec, Edomex, México en el cultivo de papa var. Alpha usando combinaciones de abonos orgánicos y fertilizantes minerales para ajustar la recomendación 165-200-300, indicaron que la gallinaza fue el abono que aportó mayor cantidad de nutrientes de origen orgánico, tuvo la mejor respuesta en rendimiento total, comercial, producción de materia seca, acumulación de N por tubérculos y presentó el mayor contenido de C-biomasa microbiana en suelo. Por cada tonelada de gallinaza se incrementó el rendimiento total de tubérculos en 1468 kg, obteniéndose rendimientos superiores a 43 t ha⁻¹. La aplicación de la VC produjo menores niveles de rendimiento que los otros abonos, con reducción de rendimiento al elevar la dosis de 2 a 6 t ha⁻¹ de VC, pero manteniendo la dosis de fertilización recomendada obtuvo mayor concentración de N en tubérculos y, por tanto mejor calidad biológica al aumentar el contenido de proteína (Romero-Lima *et al.*, 2000). Esto último toma relevancia pues Savvas (2003) señala que la competitividad de los sistemas de producción depende más frecuentemente de la calidad del producto que del rendimiento total.

En la comparación de dos genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - Adela y André – desarrollados en diferentes mezclas de VC: arena (VC:A; v:v) vs sustrato con arena y solución nutritiva (testigo), en invernadero, se destacó lo siguiente; para el genotipo André el rendimiento fue de 17.05 kg m⁻¹, con la mezcla 12.5:87.5 (v:v) aunque resultó estadísticamente igual ($P<0.05$) al testigo, en el que se obtuvieron 15.10 kg m⁻¹ (Moreno-Reséndez *et al.*, 2005). Adicionalmente, los mismos autores establecieron que con la misma mezcla (12.5:87.5 de VC):

a) se obtuvieron los valores promedio significativamente más altos para las variables de calidad: número de lóculos (5), sólidos solubles (6.2 ° Brix), diámetro ecuatorial (7.47 cm) y peso de fruto (224.71 g fruto⁻¹); b) en el caso del diámetro polar (6.5 cm) esta mezcla sólo fue superada por la mezcla 50:50 (v:v) donde se obtuvo un valor de 6.9 cm; y c) con respecto al espesor de pulpa los diferentes tratamientos fueron estadísticamente iguales con un promedio de 0.8 cm. Los resultados sugieren que la fertilización del genotipo André, a través de la solución nutritiva, puede ser sustituida con la aplicación de VC en el medio de crecimiento.

Control de enfermedades y organismos patógenos. Existen pocos datos sobre los posibles mecanismos mediante los cuales las VC generan efectos de incremento en el crecimiento. Sin embargo, se ha demostrado que la incidencia de enfermedades de las plantas puede ser controlada por la VC. Además, debido a la presencia de este material se ha incrementado la actividad de la micorriza vesículo-arbuscular y se ha suprimido la población de nematodos (Atiyeh *ET AL.*, 2002).

Cuando las lombrices se alimentan de residuos orgánicos ingieren una amplia gama de materiales alimenticios, incluyendo bacterias, hongos, protozoarios y nemátodos. Debido a esta situación, Bonkowski *et al.* (2000), concluyeron que las lombrices de diferentes grupos ecológicos, prefieren como alimento a diversas especies de hongos, entre las cuales destacan: *Fusarium nivale*, *Rhizoctonia solani*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor* sp. La importancia de esta preferencia se debe a que la mayoría de estos hongos son organismos patógenos o parásitos del tejido vegetal, y en consecuencia limitan el óptimo crecimiento de las plantas.

Gajalakshmi *et al.* (2001) señalan que dentro de los beneficios que aporta la VC al comparar su incorporación con el material original (pre-compostado) se encuentran el incremento de la capacidad de la retención de humedad del suelo, una mejor disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas. También han establecido que las VC contienen enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos.

Por otra parte, Domínguez *et al.* (2003) determinaron que durante el proceso de vermicomposteo de dos residuos orgánicos: estiércol de vaca y lodos de aguas negras, con lombrices *Eisenia andrei*, se logró reducir significativamente la presencia de nematodos ($>50\%$) en ambos sustratos, debido a la actividad de descomposición que realizan estas lombrices.

Conclusión

Por lo descrito en los párrafos anteriores es posible

establecer que una amplia gama de residuos orgánicos, entre los que destacan diferentes tipos de estiércol, los residuos caseros, los residuos de mercado y, los lodos residuales (biosólidos) los cuales generan problemas de contaminación ambiental, pueden ser procesados con diversas lombrices de tierra, y una vez que estos residuos se transforman en VC, tienen un amplio potencial para los sistemas de producción agrícola: tanto bajo condiciones de invernadero, como a campo abierto, especialmente dentro de la industria hortícola y ornamental. Ya que la VC, como se ha señalado tiene efectos importantes sobre el crecimiento y el rendimiento de las especies vegetales y en un momento determinado puede sustituir parcialmente la aplicación de fertilizantes sintéticos y ayudar a reducir la presencia de enfermedades fungosas y de organismos patógenos.

Esta conclusión está ampliamente relacionada con éxito actual de la agricultura orgánica, pues este sistema de producción presenta una solución integral a los problemas del sector agropecuario: protección al ambiente, conservación de los recursos renovables y no renovables, mejor calidad de alimentos y direccionamiento de la producción a áreas de mayor demanda del mercado. Además, otro factor clave para promover el desarrollo de la agricultura orgánica ha sido la exigencia de los consumidores, la cual se ha incrementado considerablemente en los últimos años a raíz de los problemas por residuos de los fertilizantes sintéticos y plaguicidas en verduras y frutas, niveles excesivos de hormonas en la producción animal, la contaminación de productos lácteos por dioxinas. Como resultado, el consumidor está exigiendo, cada día, mayores garantías sobre la calidad y sanidad de los alimentos.

Literatura Citada

- Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., y Shuster, W. 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
- Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S. y Edwards, C. A. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709-724.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A. y Metzger, J. D., 2000c. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.*, 75: 175-180.
- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S. y Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.* 78: 11-20.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. y Metzger, J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
- Benitez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., y Ceccanti, B. 1999. Enzyme activities as indicator of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 67: 297-303.
- Bonkowski, M., Griffiths, B. S. y Ritz, K., 2000. Food preferences of earthworms for soil fungi. *Pedobiologia*. 44: 666-676.
- Brown, G. G., Barois, I. y Lavelle, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.*, 36: 177-198.
- Buck, C., Langmaack, M. y Schrader, S. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Appl. Soil Ecol.* 14: 223-229.
- Canellas, L. P., de Araújo-Santos, G., Rumjanek, V. M., Alpande-Moraes, A., y Guridi, F. 2001. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesq. Agropec. Bras.* 36(12): 1529-1538.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Facanha, A. L. y Facanha, A. R. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* 130(4): 1951-1957.
- Castillo, A. E., Quarín, S. H. y Iglesias, M. C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc. (Chile)*. 60(1): 74-79.
- Chaudhuri, P. S., Pal, T. K., Bhattacharjee, G., y Dey, S. K. 2003. Rubber leaf litters (*Hevea brasiliensis*, var RRIM 600) as vermiculture substrate for epigeic earthworms, *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*. *Pedobiologia* 47: 1-5.
- Contreras-Ramos, S. M., Escamilla-Silva, E. M., y Dendooven, L. 2005. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biol. Fertil. Soils*. 41:190-198.
- Cruz-Rodrigues, V., de Almeida-Theodoro, V. C., de Andrade, I. F., Neto, A. I., do Nascimento-Rodrigues, V., y Villa-Alves, F. 2003. Produção de minhocas e

- composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. Ciênc. Agrotec. Lavras, 27(6): 1409-1418.
- Domínguez, J., Edwards, C. A. y Webster, M. 2000. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiologia* 44: 24-32.
- Domínguez, J., Edwards, C. A. y Ashby, J. 2001. The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia* 45: 341-353.
- Domínguez, J., Parmelee, R. W. y Edwards, C. A. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47: 53-60.
- Gajalakshmi, S., Ramasamy, E. V. y Abbasi, S. A. 2001. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Biores. Technol.* 76: 177-181.
- Gunadi B, Edwards C. A., y Arancon, Q. 2002. Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 161-165.
- Gunadi, B. y Edwards, C. A. 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia* 47.
- Ghosh, M., Chattopadhyay, G. N. y Baral, K. 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Biores. Technol.* 69: 149-154.
- Mangrich, A. S., Lobo, M. A., Tanck, C. B., Wypych, F., Toledo, E. B. S., y Guimarães, E. 2000. Criterios Preparation and Characterization of Earthworm-composts in View of Animal Waste Recycling. Part I. Correlation Between Chemical, Thermal and FTIR Spectroscopic Analyses of Four Humic Acids from Earthworm-composted Animal Manure. *J. Braz. Chem. Soc.*, 11(2): 164-169.
- McGinnis, M., Warren, S., y Bilderback, T. 2004. Vermicompost – Potential as Pine Bark Amendment for the Nursery. In: Nursery Short Course. North Carolina State University. 8-10 pp.
- Moreno-Reséndez, A., Valdés-Perezgasga, M. T. y Zarate-López, T. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc. (Chile)*. 65(1):26-34
- Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F. y Nardi, S. 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1303-1311.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A. y Das, K. C., 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 71: 5-12.
- Ndegwa, P. M., y Thompson, S. A. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Biores. Technol.* 76: 107-112.
- Pereira, M. G. y Zezzi-Arruda, M. A. 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *J. Braz. Chem. Soc.* 14(1): 39-47.
- Pereira, M. G. y Zezzi-Arruda, M. A. 2004. Preconcentration of Cd(II) and Pb(II) Using Humic Substances and Flow Systems Coupled to Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Microchim. Acta*: 215-222.
- Quintero-Lizaola, R. Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J. D., García-Calderón, N. E., Rodríguez-Kabana, R., Alcántar-González, G. y Aguilar-Santelises, A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra*. 21(1): 73-80.
- Ramesh, P., Singh, M., y Rao, A. S. 2005. Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Sci.* 88(4): 561-568.
- Rasmussen, K. J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Till. Res.* 53: 3-14.
- Raviv, M., 2005. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. *HortTechnology* 15(1): 52-57.
- Romero-Lima, M. R., Trinidad-Santos, A., García-Espinosa, R. y Ferrera-Cerrato, R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34(3): 261-269.
- Santamaría-Romero, S., y Ferrera-Cerrato, R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra* 20: 303-310.
- Savvas, D., 2003. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Food Agricul. Environ.* 1(1): 80-86.
- Sharma, S., Pradhan, K., Satya, S., y Vasudevan, P. 2005. Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review. *J. Am. Sci.* 1(1): 1-16.
- Shuster, W. D., Subler, S. and McCoy, E. L. 2000. Foraging by deep-burrowing earthworms degrades surface soil structure of a fluventic Hapludoll in Ohio. *Soil Till. Res.* 54: 179-189.
- Singh, N. B., Khare, A. K., Bhargava, D. S., y Bhattacharya, S. 2004. Optimum moisture requirement

- during vermicomposting using *Perionyx excavatus*. Appl. Ecol. Environ Res. 2(1): 53-62.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., y Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil Till. Res. 79: 7-31.
- Soto, G., y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica). (65):123-129.
- Valadares-Veras, L. R., y Povinelli, J. 2004. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. Eng. Sanit. Ambi- ent. 9(3): 218-224.
- Velasco-Velasco, J., Ferrera-Cerrato, R. y Almaraz- Suárez, J.J., 2003. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasiliense* en tomate de cáscara. Terra 19(3): 241-248.
- Wescott, H., 1998. Compost facility resource handbook: Guidance for Washington State. Solid Waste & Financial Assistance Program.
- Whalen, J. K. and Costa, C. 2003. Linking spatio-temporal dynamics of earthworm populations to nutrient cycling in temperate agricultural and forest ecosystems. Pedobiologia 47: 1-6.
-