

Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos*

Vermicomposting: II progress and strategies in the treatment of organic solid waste

Víctor Manuel Villegas-Cornelio^{1§} y José Ramón Laines Canepa²

¹División Académica de Ciencias Básica, Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 2.0. Ranchería Paso y Playa, Cárdenas, Tabasco. CP. 86500. Tel. (01) 937 3727050. ²División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas, km 0.5. Entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco. CP. 86150. Tel. (01) 993 3581500, ext. 6400. [§]Autor para correspondencia: vicvil@prodigy.net.mx.

Resumen

El vermicompostaje es un proceso biotecnológico que permite biodegradar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene un producto final estabilizado. En el proceso se aprovechan las capacidades detritívoras de las lombrices, la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presentes en su intestino. El objetivo de esta revisión es dar a conocer avances reportados en la literatura científica acerca de los diferentes eventos en el proceso de vermicompostaje. El uso de residuos orgánicos no convencionales para producir vermicomposta, es una forma de reciclar materia orgánica que de otra manera son desechados de forma inapropiada causando problemas ambientales y pérdida de material orgánico valioso. Su uso como bioplaguicida plantea buena expectativa para el control de patógenos en los cultivos, limitando del empleo de pesticidas químicos. Se hace una revisión de la actividad enzimática en el vermicompostaje, responsable de muchas transformaciones bioquímicas en el sustrato. Un aspecto importante del proceso es el funcionamiento y la biodiversidad de las poblaciones microbianas que participan en la transformación de los residuos, del que se sabe muy poco. El manejo de esta

Abstract

The vermicomposting is a biotechnological process that allows biodegradation of organic waste under aerobic and mesophilic conditions by the joint action of worms and microorganisms, from which a stabilized final product is obtained. In the process they take advantage of the destructive capacities of the worms, the action of the digestive enzymes and the aerobic and anaerobic microflora present in their intestines. The objective of this review is to present advances reported in the scientific literature about the different events in the vermicomposting process. The use of unconventional organic waste to produce vermicompost is a way to recycle organic matter that otherwise is improperly disposed of causing environmental problems and loss of valuable organic material. Its use as a biopesticide raises good expectations for the control of pathogens in crops, limiting the use of chemical pesticides. A review of the enzymatic activity in the vermicomposting, responsible for many biochemical transformations in the substrate. An important aspect of the process is the functioning and biodiversity of microbial populations involved in the transformation of waste, which is very little known. The management of this technology requires the

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

tecnología requiere del entendimiento de los mecanismos complejos en la relación lombriz-microorganismos, que interactúan para aumentar las tasas de descomposición de la materia orgánica.

Palabras clave: bioplaguicida, enzimas, lombrices de tierra, microorganismos, vermicompostaje.

Introducción

Actividades productivas como las agrícolas, urbanas e industriales generan residuos orgánicos que a pesar de no ser considerados óptimos para el desarrollo de las lombrices en condiciones naturales, han sido bioestabilizados con éxito en procesos de vermicompostaje. Estos residuos considerados no convencionales requieren de pre-acondicionamiento que le brinde las características requeridas para el adecuado desarrollo de las lombrices (Moreno *et al.*, 2014). De los diferentes residuos que han sido vermicompostados de manera exitosa, los de la industria alimentaria, farmacéutica, curtiduría, papelera, forestal y ganadera, azucarera y conservas y vitivinícola (Balakrishnan y Batra, 2011; Garg *et al.*, 2012; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2012; Basheer y Agrawal, 2013; Martínez-Cordeiro *et al.*, 2013; Sreekanth *et al.*, 2014; Ravindran *et al.*, 2015) son recursos con un alto valor agrícola por las ventajas que proporciona al suelo a través del vermicompostaje.

La acumulación de este tipo de residuos deteriora el medio ambiente (Asim *et al.*, 2015; Cardoen *et al.*, 2015), generando además una pérdida de material potencialmente valioso que se puede procesar para generar productos con valor agregado (Nigam *et al.*, 2009; Suthar *et al.*, 2012). Con el desarrollo de sistemas agrícolas modernos se ha abierto otra ventana de discusión, el problema de contaminación derivado del uso de fertilizantes químicos (Navarro *et al.*, 1995). De las muchas ventajas de la vermicomposta está su uso como bioplaguicida contra patógenos vegetales. Recientes investigaciones han demostrado que el vermicompostaje incrementa la diversidad microbiana, condición que la hace útil como agente biocontrolador contra diferentes plagas (Domínguez *et al.*, 2010; Jack, 2012).

Su uso ha demostrado su capacidad como fungicida, supresor de áfidos, nematodos y ácaros de cultivos (Artavia *et al.*, 2010; Edwards *et al.*, 2010a; Contreras-Blanca *et al.*, 2014). El vermicompostaje es un proceso bioquímico que puede

understanding of the complex mechanisms in relation worm-microorganisms, which interact to increase rates of decomposition of organic matter.

Keywords: biopesticide, earthworms, enzymes, microorganisms, vermicompost.

Introduction

Productive activities such as agricultural, urban and industrial generate organic waste that despite not being considered optimal for the development of earthworms in natural conditions, have been successfully biostabilized in vermicomposting processes. These wastes considered unconventional require pre-conditioning that will provide the characteristics required for the proper development of the worms (Moreno *et al.*, 2014). Of the different wastes that have been successfully vermicomposting, the food industry, pharmaceutical, tannery, paper, forestry and livestock, sugar and preserves, and wine (Balakrishnan and Batra, 2011; Garg *et al.*, 2012; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2012; Basheer and Agrawal, 2013; Martínez-Cordeiro *et al.*, 2013; Sreekanth *et al.*, 2014; Ravindran *et al.*, 2015) are resources with high agricultural value for the benefits it provides to the ground through the vermicomposting.

The accumulation of this waste damages the environment (Asim *et al.*, 2015; Cardoen *et al.*, 2015), also generating a loss of potentially valuable material that can be processed to produce value-added products (Nigam *et al.*, 2009; Suthar *et al.*, 2012). With the development of modern agricultural systems has opened another window of discussion, the problem of contamination from the use of chemical fertilizers (Navarro *et al.*, 1995). Of the many benefits of vermicompost is its use as a biopesticide against plant pathogens. Recent research has shown that vermicomposting increases microbial diversity, which makes it useful as a bio control agent against various pests (Domínguez *et al.*, 2010; Jack, 2012).

Its use has proven its ability as a fungicide, suppressor aphids, nematodes and mites crops (Artavia *et al.*, 2010; Edwards *et al.*, 2010a; Contreras-Blanca *et al.*, 2014). The vermicomposting is a biochemical process that can be explained through its enzymatic activity taking place on the ground and are responsible for the transformation of

ser explicado a través de su actividad enzimática, que tienen lugar en el suelo y son responsables de las transformaciones de compuestos orgánicos complejos a sustancias solubles fácilmente asimilables por las plantas, esta actividad ha cobrado interés sobre todo en aquellos ciclo de los elementos que forman parte de la materia viva (García *et al.*, 2003; Henríquez *et al.*, 2014). Otro aspecto importante del proceso es la función y biodiversidad microbiana que participan en la transformación de los residuos, existe al respecto escaso conocimiento debido a la complejidad y heterogeneidad del proceso (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014).

Este documento tiene como objetivo dar a conocer avances reportados en la literatura científica acerca de los complejos mecanismos del proceso de vermicompostaje, con el propósito de valorar las virtudes de estas tecnologías en la conversión de residuos orgánicos sólidos en productos estabilizados con amplio potencial de uso como enmiendas orgánicas para suelos, la supresión de patógenos radiculares de plantas o descontaminación de suelos.

Los residuos no convencionales: material orgánico de uso potencial

Este tipo de residuos procedentes de ámbitos agroindustrial, urbanos e industrial a pesar de ser considerados no óptimos para el desarrollo de las lombrices en condiciones naturales, han sido bioestabilizados eficazmente por medio del vermicompostaje. Sin embargo, en algunos casos es necesario acondicionarlos previamente para permitir la sobrevivencia de las lombrices (Vargas-Machuca *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2014). En este tipo de residuos están los lodos generados por algunas industrias, en la que el vermicompostaje es una alternativa simple y de bajo costo para su reciclaje.

La transformación de estos residuos es importante para la estabilización de lodos generados por la industria alimentaria, el producto obtenido presenta una mejora química significativa en nitrógeno, fósforo, sodio y potasio, además de la estabilización del pH, carbono orgánico total y la relación C:N, incluso el abono obtenido puede mejorarse si se enriquece con otros residuos, particularmente con estiércol bovino o equino, obteniendo un humus homogéneo en olor, granulación y de color oscuro (Garg *et al.*, 2012; Meiyani *et al.*, 2012). En la industria del sagú (*Marantha auridinacea*) se ha utilizado los beneficios del vermicompostaje, mezclando los residuos de esta industria con estiércol de vaca y aves de corral, el producto resultante

complex organic compounds easily assimilated by plants soluble substances, this activity has gained interest on all in those cycle of the elements that are part of living matter (García *et al.*, 2003; Henríquez *et al.*, 2014). Another important aspect of the process is the function and microbial biodiversity involved in the processing of waste, there is the limited knowledge about because of the complexity and heterogeneity of the process (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014).

This document aims to present advances reported in the scientific literature on the complex mechanisms of the vermicomposting process, with the purpose of evaluating the virtues of these technologies in the conversion of solid organic residues into stabilized products with broad potential of use as organic amendments to soils, suppression of plant root pathogens or decontamination of soils.

The unconventional waste: organic material of potential use

This type of waste from agroindustrial, urban and industrial areas, despite being considered not optimal for the development of earthworms under natural conditions, have been effectively biostabilized by vermicomposting. However, in some cases it is necessary to condition them to allow the survival of worms (Vargas-Machuca *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2014). Within this type of waste are sludge generated by some industries, in which vermicomposting is a simple and low-cost alternative for recycling.

The transformation of these residues is important for the stabilization of sludge generated by the food industry, the product obtained presents a significant chemical improvement in nitrogen, phosphorus, sodium and potassium, besides the stabilization of pH, total organic carbon and the C:N, including fertilizer obtained can be improved if it is enriched with other wastes, particularly with cattle manure or equine, obtaining a homogenous humus smell, granulation and dark (Garg *et al.*, 2012; Meiyani *et al.*, 2012). In industry sago (*Marantha auridinacea*) has used the benefits of vermicomposting, mixing the waste industry with cow dung and poultry, the resulting product is a fertilizer quality with convenient reduction of the C:N and improved nutritional status for crop production (Subramanian *et al.*, 2010).

es un abono de calidad con la conveniente reducción de la relación C:N y mayor estatus nutricional para la producción de cultivos (Subramanian *et al.*, 2010).

Una ventaja del vermicompostaje de los lodos residuales y su empleo como abono, es el mejoramiento de las propiedades bioquímicas y fisicoquímicas de los suelos, sobre todo de los poco fértiles. Estudios realizados en suelos arcillosos y arenosos ha demostrado que el mejoramiento comienza a partir de la activación de los procesos microbiológicos a través de la modificación gradual de las condiciones nutritivas que ocurren dentro de la cubierta viva debido a la actividad de las lombrices. La mejora en la estructura del suelo es de importancia agronómica ya que buenas propiedades físicas favorecen la retención de agua, difusión de oxígeno y disponibilidad de nutrientes, que al combinarse mejoran la calidad y fertilidad del suelo (Masciandaro *et al.*, 2010).

La industria farmacéutica que comprende el procesamiento de materias primas de uso farmacéutico genera contaminantes orgánicos que deriva en su mayor parte de la producción del principio activo. Estos desechos no pueden descartarse como residuos convencionales sin darles un tratamiento especial (Ramos, 2006; Sreekanth *et al.*, 2014). El vermicompostaje de los residuos de hierbas después de su proceso mezclados con estiércol de vaca, provoca cambios significativos en las características del residuo como disminución del carbono orgánico, de la relación C:P, y C:N, y generando un aumento en nitrógeno, fósforo y potasio. El abono obtenido tiene uso potencial en restauración ecológica y programas de fertilidad del suelo (Singh y Suthar, 2012a; Singh y Suthar, 2012b).

El vermicompostaje también tiene aplicación en la industria de la curtiduría, que genera desechos tóxicos y materiales orgánicos de lenta degradación. Este proceso es una alternativa viable para la reducción y biodegradación de estos contaminantes, observando una disminución de la concentración de patógenos, de la conductividad eléctrica y sólidos volátiles, la concentración de nitrógeno y fósforo al final del proceso son similares a los encontradas en los abonos orgánicos. La combinación lombriz de tierra y microorganismos con estiércol bovino modifican las propiedades fisicoquímicas de los residuos, obteniendo un producto libre de olores, más oscuro y homogéneo, con una disminución de la relación C:N (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2006; Ravindran *et al.*, 2015).

One advantage of the vermicomposting of the residual sludge and its use as fertilizer is the improvement of the biochemical and physicochemical properties of the soil, especially of the less fertile ones. Studies in clay and sandy soils has shown that improvement starts from the activation of microbiological processes through the gradual modification of the nutritional conditions that occur within the live cover because of earthworm activity. The improved soil structure is agronomically important as good physical properties favor water retention, diffusion of oxygen and nutrient availability, which when combined improve quality and soil fertility (Masciandaro *et al.*, 2010).

The pharmaceutical industry comprising the processing of raw materials for pharmaceutical use generates organic pollutants which derives for the most part from the production of the active ingredient. These wastes can not be ruled out as conventional waste without giving prior special treatment (Ramos, 2006; Sreekanth *et al.*, 2014). The vermicomposting of herbs after processing mixed with cow manure, causes significant changes in the characteristics of the residue as a reduction of organic carbon, C:P, and C:N ratio, and generating an increase in nitrogen, phosphorus and potassium. The fertilizer obtained has potential use in ecological restoration and programs soil fertility (Singh and Suthar, 2012a; Singh and Suthar, 2012b).

The vermicomposting also has application in the tannery industry, which generates toxic wastes and organic materials of slow degradation. This process is a viable alternative for the reduction and biodegradation of these pollutants, observing a decrease in pathogen concentration, electrical conductivity and volatile solids, the concentration of nitrogen and phosphorus at the end of the process are similar to those found in fertilizers organic. The earthworm and microorganisms combination with cattle manure modify the physicochemical properties of waste, obtaining a product free of odors, darker and homogeneous, with a decrease in the C:N (Cardoso-Vigueros and Ramírez-Camperos, 2006; Ravindran *et al.*, 2015).

In the paper industry that generates large amounts of waste, use of vermicomposting technology has generated high expectations. Studies conducted degradation of paper mixed with sawdust, horse manure and earthworm

En la industria papelera que genera grandes cantidades de residuos, el uso de la tecnología del vermicompostaje ha generado buenas expectativas. Estudios realizados de la degradación de papel mezclado con aserrín de madera, estiércol equino y la lombriz de tierra *Perionyx excavatus*, ha generado buenos resultados, al obtener humus de lombriz de buena calidad (Abd *et al.*, 2009). Como el papel de desecho es rico en carbono y deficiente en nitrógeno, puede mezclarse con estiércol bovino, haciéndolo más adecuado para las lombrices de tierra. Este proceso incrementa la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, y disminuye el pH y la relación C:N al final del proceso (Basheer y Agrawal, 2013).

Los residuos de la industria forestal y ganadera representan un grave problema ecológico si no se manejan adecuadamente. Una alternativa para transformar estos materiales es el vermicompostaje, y utilizarse de manera segura como mejoradores del suelo. Estos residuos al mezclarse con estiércoles de vaca, conejo y oveja, generan un producto de buena calidad con disminución en la relación C:N y pH, los contenidos de nitratos y nitrógeno se incrementan, dando al producto final propiedades químicas y nutricionales valiosas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2012).

La industria vitivinícola de gran importancia económica en varios países, genera grandes cantidades de residuos, entre ellos el bagazo de uva, subproducto del proceso de extracción del mosto en la preparación del vino. El vermicompostaje del bagazo genera un producto maduro y estabilizado, con un incremento en la concentración de nutrientes para su uso como enmienda orgánica en campos de cultivo (Martínez-Cordeiro *et al.*, 2013). La rapidez con que ocurren estas transformaciones hacen del proceso un buen sistema para estudiar el papel de las lombrices de tierra y su microflora en la degradación del bagazo de uva (Gómez-Brandón *et al.*, 2010). Otro residuo proveniente de la industria de bebidas alcohólica es el bagazo tequilero, sustrato potencial para vermicompostaje. El humus resultante provee un reservorio nutricional alto en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio que permite su uso en la agricultura (Rodríguez *et al.*, 2010).

La producción de azúcar es una importante industria agrícola que genera residuos sólidos como el bagazo, cachaza, lodos del proceso de clarificado, cenizas y basura de caña (Balakrishnan y Batra, 2011). La transformación de estos residuos por vermicompostaje mezclado con estiércol de bovinos y lombriz de tierra (*Eisenia fetida*), ayuda a mejorar las características fisicoquímicas del producto final. Los nutrientes como el nitrógeno, fósforo y sodio aumentan

Perionyx excavatus has generated good results, to get vermicompost good quality (Abd *et al.*, 2009). As waste paper is rich in carbon and deficient in nitrogen, it can be mixed with bovine manure, making it more suitable for earthworms. This process increases the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium, and decreases the pH and C:N ratio at the end of the process (Basheer and Agrawal, 2013).

The waste from the forestry and livestock industry represents a serious ecological problem if not managed properly. An alternative to transform these materials is vermicomposting, and used safely as soil improvers. These residues when mixed with cow, rabbit and sheep manures, generate a good quality product with a decrease in the C:N ratio and pH, the contents of nitrates and nitrogen increase, giving the final product valuable chemical and nutritional properties (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2012).

The wine industry of great economic importance in several countries generates large quantities of waste, including grape bagasse, a by-product of the process of extracting must in wine preparation. The vermicomposting bagasse generates a mature and stable product, with an increase in concentration of nutrients for use as organic fertilizer on farmland (Martínez-Cordeiro *et al.*, 2013). The speed with which these changes occur in the process make a good system to study the role of earthworms and microflora in the degradation of grape pomace (Gómez-Brandón *et al.*, 2010). Another residue from the alcoholic beverage industry is bagasse, a potential substrate for vermicomposting. The resulting humus provides a high nutrient reservoir in nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium that allows its use in agriculture (Rodríguez *et al.*, 2010).

The sugar production is an important agricultural industry that generates solid waste such as bagasse, cachaza, clarification process sludge, ash and cane waste (Balakrishnan and Batra, 2011). The transformation of this waste vermicompostings mixed with cattle manure and earthworm (*Eisenia fetida*), helps improve the physicochemical characteristics of the final product. The nutrients such as nitrogen, phosphorus and sodium increase favorably, with decrease of organic carbon and C:N ratio. In the transformation of these wastes they have been used as worms *Eudrilus eugenia*, *Eisenia fetida* and *Perionyx excavates* capable to convert a large part of the organic waste humus in a relatively short period.

favorablemente, con disminución del carbono orgánico y relación C:N. En la transformación de estos residuos se han utilizado lombrices como *Eudrilus eugenia*, *Eisenia fetida* y *Perionyx excavates*, capaces de convertir una buena parte de la materia orgánica de estos residuos en humus en un periodo relativamente corto. Los nutrientes como calcio, magnesio, sodio y potasio aumentan significativamente y el pH es estable en el producto final (Bhandarkar *et al.*, 2014). Experimentos realizados con bagazo de caña de azúcar y paja de arroz, han demostrado que las vermicompostas obtenidas mejoran el crecimiento de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y mejora significativa en la calidad del suelo (Adil y Jaikishun, 2010).

Otro residuo de la agroindustria es el bagazo de la piña, que puede representar hasta 20% de la producción total. Parte de este residuo es utilizado como alimento para ganado y el resto se desecha, convirtiéndose en un problema ambiental (Antonio *et al.*, 2011). Poco se sabe acerca de la capacidad de transformación por las lombrices de los residuos de piña. Mainoo *et al.* (2009), consideran que el vermicompostaje resulta prometedor como una tecnología de gestión para este tipo de residuos, se ha demostrado que el vermicompostaje con *Eisenia eugeniae* acelerara la descomposición y la pérdida de masa de los residuos, con incremento de nitrógeno, fósforo y potasio. Sin embargo, la acidez inicial de los residuos es un problema para las lombrices, por lo que un precompostaje mejora las condiciones de pH.

Bioplaguicida: un producto del vermicompostaje para la producción orgánica sostenible

Una propiedad poco conocida del proceso de vermicompostaje es la presencia de agentes bioplaguicidas en la vermicomposta. Recientemente se ha investigado su potencial contra patógenos vegetales, insectos, ácaros y nematodos parásitos de plantas. Al adicionar vermicomposta al suelo se incrementa la diversidad microbiana, por un rango más amplio de microorganismos, estos pueden actuar como agentes controladores contra diferentes plagas en plantas, se ha sugerido que los posibles mecanismos de supresión de enfermedades está basado en la competencia entre microorganismos por los nutrientes y la energía (Clive *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2010; Edwards *et al.*, 2010a; Jack, 2012).

La capacidad antifúngica del lixiviado de vermicomposta a partir de estiércol bovino contra el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* tiene un efecto inhibitorio de 100% cuando se aplica sin ser esterilizado. Se ha descubierto que los microorganismos presentes en el lixiviado compiten

The nutrients such as calcium, magnesium, sodium and potassium increase significantly and the pH is stable in the final product (Bhandarkar *et al.*, 2014). Experiments with sugar cane bagasse and rice straw have shown that vermicomposts obtained improve the growth of bean plants (*Phaseolus vulgaris*) and improvement significant in the soil quality (Adil and Jaikishun, 2010).

Another residue of agro-industry is pineapple bagasse, which can represent up to 20% of total production. Part of this residue is used as cattle feed and the rest is discarded, becoming an environmental problem (Antonio *et al.*, 2011). Little is known about the processing capacity for the earthworms of pineapple residues. Mainoo *et al.* (2009), consider that vermicomposting is promising as a management technology for this type of waste, it has been shown to vermicomposting with *Eisenia eugeniae* accelerate decomposition and loss of mass waste, an increase of nitrogen, phosphorus and potassium. However, the acidity initial of waste is a problem for worms, so a pre-composting improves pH conditions.

Biopesticide: a product of vermicomposting for sustainable organic production

A little known property of the vermicompost process is the presence of bioplagicidal agents in the vermicompost. Its potential has recently been investigated against plant pathogens, insects, mites and plant parasitic nematodes. When vermicompost is added to the soil, microbial diversity increases, with a broader range of microorganisms, these can act as controlling agents against different pests in plants, it has been suggested that the possible mechanisms of disease suppression is based on competition between microorganisms for nutrients and energy (Clive *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2010; Edwards *et al.*, 2010a; Jack, 2012).

The antifungal capacity of vermicompost leachate from cattle manure against the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* has an inhibitory effect of 100% when applied without being sterilized. It has been found that the microorganisms present in the leachate compete against pathogenic fungus nutrient or are antagonistic towards the (Contreras-Blanca *et al.*, 2014). The application of vermicompost of cattle manure in tomato plants reduces the amount of parasitic nematode (*Meloidogyne incognita*) in root and soil (Castro *et al.*, 2011). The use of brushwood mature vermicompost coffee with cattle and goat manure on

contra el hongo patógeno por nutrientes o son antagonísticos hacia el (Contreras-Blanca *et al.*, 2014). La aplicación de vermicomposta de estiércol bovino en plantas de tomate reduce la cantidad del nematodo parásito (*Meloidogyne incognita*) en raíz y suelo (Castro *et al.*, 2011). El empleo de vermicomposta madura de broza de café con estiércol de bovino y cabra sobre el sistema Tiquisque-*Pythium myriotylum*, tiene un efecto supresivo sobre el desarrollo de la enfermedad causada por el hongo *Pythium myriotylum* en plantas de Tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*) (Artavia *et al.*, 2010).

La supresión de áfidos, cochinillas, ácaros y otras plagas es otro uso de la vermicomposta, estudios en plantas de tomates y pepinos han demostrado que los extractos acuosos de la vermicomposta suprimen tanto el establecimiento de la plaga en la planta, como las tasas reproductivas del áfido verde del melocotón, cochinillas y ácaros (araña manchada). El mismo efecto ejerce sobre los escarabajos (*Acalymna vittatum*) del pepino y gusanos cornudos del tabaco (*Manduca sexta*), en el que los extractos suprimen significativamente el establecimiento de las plagas en las plantas. Probablemente la supresión se deba a la fijación de compuestos fenólicos por las plantas y a su rechazo por las plagas (Edwards *et al.*, 2010a; Edwards *et al.*, 2010b). El uso integral de la vermicomposta aporta ciertas ventajas al suelo y las plantas, al suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento y producción del cultivo, y al mismo tiempo ejercer un control biológico contra plagas que afecta la producción.

Actividad enzimática: una medida de la actividad bioquímica del proceso de vermicompostaje

Las enzimas intervienen en la mayoría de los procesos que tienen lugar en el suelo, son responsables de la formación de moléculas orgánicas y particularmente en la transformación de compuestos orgánicos complejos a sustancias asimilables por las plantas. Las enzimas en el suelo pueden ser extracelulares, intracelulares o bien estar adsorbidas a la materia orgánica y sistema coloidal, lo cual sugiere que el suelo puede actuar como un reservorio temporal (Henríquez *et al.*, 2014).

Para medir la actividad metabólica de los microorganismos, se puede recurrir a una variedad de ensayos enzimáticos, a través de pruebas para determinar enzimas específicas (Atlas y Bartha, 2001). El conocimiento de la evolución de las actividades enzimáticas durante el vermicompostaje es importante, sobre todo las actividades enzimáticas del tipo hidrolasas, que son actividades implicadas en los ciclos de los elementos biófilos como carbohidrasas, quitinasa,

Tiquisque-system *Pythium myriotylum*, has a suppressive effect on the development of the disease caused by the fungus *Pythium myriotylum* in plants Tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*) (Artavia *et al.*, 2010).

The suppression of aphids, mealybugs, mites and other pests is another use of vermicompost, studies in tomato and cucumber plants have shown that aqueous extracts of vermicompost suppress both pest establishment in the plant, and reproductive rates of green peach aphid, mealybugs and mites (spotted spider). The same effect has on beetles (*Acalymna vittatum*) cucumber and hornworms of snuff (*Manduca sexta*), which extracts significantly suppress the establishment of plant pests. Suppression is probably due to the fixing of phenolic compounds by plants and its rejection by pests (Edwards *et al.*, 2010a; Edwards *et al.*, 2010b). The use of the vermicompost gives certain advantages to the soil and the plants, providing the necessary nutrients for the growth and production of the crop, and at the same time exerting a biological control against pests that affects the production.

Enzymatic activity: a measure of the biochemical activity of the vermicompost process

The enzymes are involved in most processes that take place in the soil, are responsible for the formation of organic molecules and particularly in the transformation of complex organic compounds to substances assimilable by plants. The enzymes in the soil may be extracellular, intracellular or be adsorbed to organic matter and colloidal system, suggesting that the soil can act as a temporary reservoir (Henríquez *et al.*, 2014).

To measure the metabolic activity of the microorganisms, a variety of enzymatic assays can be used, through tests to determine specific enzymes (Atlas and Bartha, 2001). The knowledge of the evolution of enzymatic activities during vermicomposting is important, especially the enzymatic activities of the hydrolases type, which are activities involved in the cycles of the biophilic elements such as carbohydases, chitinase, β -glucosidase and β -galactosidase of the C, the P of cycle phosphatase, urease and proteases arylsulfatase cycle N and S of the cycle, which are regarded as specific parameters (García *et al.*, 2003). In the microbial processes that are generated in the soil or other substrate, the quantification of the dehydrogenase and catalase are some of the most used methods and are considered as general tests (Acosta and Paolini, 2005).

β -glucosidada y β -galactosidada del ciclo del C, fosfatasa del ciclo del P, ureasa y proteasas del ciclo del N y arilsulfatasa del ciclo del S, que son consideradas como parámetros específicos (García *et al.*, 2003). En los procesos microbianos que se generan en el suelo u otro sustrato, la cuantificación de la deshidrogenasa y catalasa son unos de los métodos más usados y son considerados como pruebas generales (Acosta y Paolini, 2005).

El entendimiento de la actividad enzimática es importante para manejar los procesos bioquímicos que ocurren durante el vermicompostaje (Quintero-Lizaola *et al.*, 2005). La mayoría de las actividades enzimáticas estudiadas, después de un aumento durante los primeros estadios del proceso, tienden a disminuir a medida que avanza la biodegradación de los residuos orgánicos por la acción de las lombrices y microorganismos. Por ello, las vermicompostas obtenidas presentan una menor actividad que los residuos orgánicos frescos. Sin embargo, hay que señalar que las vermicompostas, al tener estabilizada su materia orgánica, conseguirán mayor eficacia en la construcción de un pool enzimático “estable”; es decir, complejos “enzima-humus” capaces de resistir la desnaturalización de las enzimas (Vargas-Machuca, 2010).

Dentro de los procesos de biotransformación enzimática, se ha encontrado que la presencia de la lombriz de tierra estimula la actividad de las enzimas amilasa, celulasa, lipasa, invertasa, proteasa, amidasa, ureasa, nitrogenasa, fosfatasa ácida y alcalina, fosfomonoesterasas, arilsulfatasa y deshidrogenasa. La actividad de estas enzimas es mayor en los residuos con lombrices que donde están ausentes, y disminuye en relación directa con la madurez de la composta. El incremento de esta actividad está relacionada con la interacción de tres factores importantes: presencia y ausencia de lombrices, tamaño de sustrato y tiempo de muestreo.

El conocimiento acerca de la dinámica enzimática del proceso de vermicompostaje sirve para manejar de manera sostenible y aún acelerar el proceso de biotransformación de los residuos (Quintero, 2014). Durante el vermicompostaje el incremento de la actividad de la deshidrogenasa está relacionado con la cantidad de humus aplicada al suelo. Contreras *et al.* (2013), indican que cuando se emplea la vermicomposta a razón de 30% como abono para el suelo, la enzima deshidrogenasa incrementa su actividad durante los primeros 60 días, posteriormente esta actividad desciende. Este descenso se debe que los microorganismos han agotado la fuente de carbono fácilmente degradable, razón por la cual disminuye la producción de esta enzima de acción intracelular.

The understanding of enzyme activity is important to handle the biochemical processes that occur during the vermicomposting (Quintero-Lizaola *et al.*, 2005). Most of the enzymatic activities studied, after an increase during the early stages of the process, tend to decrease as the biodegradation of organic waste progresses through the action of earthworms and microorganisms. Therefore, the vermicompost obtained has a lower activity than the fresh organic residues. However, it should be noted that the vermicompost, having stabilized its organic matter, will achieve greater efficiency in the construction of a “stable” enzymatic pool; that is, “enzyme-humus” complexes capable of resisting the denaturation of the enzymes (Vargas-Machuca, 2010).

Among the enzymatic biotransformation processes, it has been found that the presence of earthworm stimulates the activity of the enzymes amylase, cellulase, lipase, invertase, protease, amidase, urease, nitrogenases, acid and alkaline phosphatase, phosphomonoesterases, arylsulfatase and dehydrogenase. The activity of these enzymes is greater in the residues with worms than in those where they are absent, and decreases in direct relation with the maturity of the compost. The increase of this activity is related to the interaction of three important factors: presence and absence of worms, substrate size and sampling time.

The knowledge about the enzymatic dynamics of the vermicomposting process can be used to manage in a more sustainable way and even accelerate the biotransformation process of the residues (Quintero, 2014). During vermicomposting the increase in dehydrogenase activity may be related to the amount of humus applied to the soil. Contreras *et al.* (2013), indicate that when the vermicompost is used at the rate of 30% as fertilizer for the soil, the enzyme dehydrogenase increases its activity during the first 60 days, afterwards this activity decreases. This decrease may be due to the fact that the microorganisms have depleted the readily degradable carbon source, which is why the production of this intracellular action enzyme decreases.

Studies with the earthworm *Amyntas hupeiensis* show that their presence increases the fibrinolytic enzyme activity during the vermicomposting process when the corn stover is used. The activities of cellulase, amylase, β -glucosidase, endo- β -1,4-xylanase, acetyl esterase, and manganese peroxidase are significantly increased. Due

Estudios con la lombriz de tierra *Amyntas hupeiensis*, muestran que incrementa la actividad enzimática fibrolítica durante el proceso de vermicompostaje cuando se utiliza el rastrojo de maíz. Las actividades de la celulasa, avicelasa, β -glucosidasa, endo- β -1,4-xilanas, acetil esterasa, y manganeso peroxidasa se ven incrementadas de manera significativa. Debido a esta actividad, el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en el proceso de vermicompostaje se reduce en presencia de las lombrices de tierra durante los primeros 30 días aproximadamente. Aunque los microorganismos son los principales agentes responsables de la descomposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina, las lombrices de tierra juegan un papel clave en la descomposición de los residuos vegetales y es la razón para el impulso de la actividad enzimática durante el vermicompostaje al estimular la multiplicación microbiana (Yuxiang *et al.*, 2015).

El incremento de la actividad enzimática, está relacionada también con la presencia de material orgánico fresco, presente al inicio del proceso de transformación. Estudios comparativos entre el compostaje tradicional y el vermicompostaje, han demostrado que las lombrices incrementan significativamente la actividad enzimática durante las etapas iniciales del proceso y luego disminuye gradualmente. La actividad de las enzimas ureasa, fosfatasa y deshidrogenasa durante el vermicompostaje con *Eudrilus eugeniae*, de lodos residuales utilizando papel como acondicionador y estiércol de vaca, se ha visto incrementada al inicio del proceso.

Este incremento está relacionado con la disponibilidad de sustrato para la actividad enzimática extracelular, y la disminución de esta actividad puede ser debido a la reducción de la población microbiana en las últimas etapas de los procesos de compostaje y vermicompostaje (Ponmani y Udayasoorian, 2014). Rama *et al.* (2014), consideran que en el compostaje y vermicompostaje se registran actividades enzimáticas altas. Sin embargo, el vermicompostaje presenta la mayor actividad para las enzimas durante los primeros 30 días, reduciéndose al final del proceso. Tal vez, esto se deba a la disponibilidad de sustancias fácilmente degradables para las actividades microbianas en las etapas iniciales.

Estudios realizados con *Eisenia fetida* han confirmado que la actividad enzimática β -glucosidasa, celulasa y fosfatasa aumentan entre 1.2 y 2.7 veces cuando se aplica tasas bajas de purines (estiércoles líquidos del sector porcino, compuestos por deyecciones, aguas de lavado y restos de alimentos), no así la actividad proteasa que aumenta en tasas altas de purines

to this activity, the content of cellulose, hemicellulose and lignin in the vermicompost process is reduced in the presence of earthworms for the first 30 days or so. Although microorganisms are the main agents responsible for the decomposition of cellulose, hemicellulose and lignin, earthworms play a key role in the decomposition of plant residues and is one of the reasons for the promotion of enzymatic activity during vermicomposting to stimulate microbial growth (Yuxiang *et al.*, 2015).

The increase in enzymatic activity is also related to the presence of fresh organic material present at the beginning of the transformation process. Comparative studies between traditional composting and vermicomposting have shown that worms significantly increase enzyme activity during the initial stages of the process and then gradually decrease. The activity of the enzyme urease, phosphatase and dehydrogenase during vermicomposting with *Eudrilus eugeniae*, using paper sludge as a conditioner and cow manure has increased at the beginning of the process.

This increase is related to the availability of substrate for extracellular enzyme activity, and decreased this activity may be due to the reduction of the microbial population in the final stages of composting processes and vermicomposting (Ponmani and Udayasoorian, 2014). Rama *et al.* (2014), consider that enzymatic activities are high in composting and vermicomposting. However, vermicomposting exhibits the highest activity for the enzymes during the first 30 days, decreasing at the end of the process. This may be due to the availability of readily degradable substances for microbial activities in the initial stages.

Studies with *Eisenia fetida* have confirmed that the enzyme activity β -glucosidase, cellulase and phosphatase increase between 1.2 and 2.7 times when low rates of slurry (liquid manure in the pig sector, composed of manure, wash water and leftover food) applies, but not the protease activity that increases in high rates of pig slurry applied. In both purines rates applied, the presence of earthworms in younger layers stimulates microbial growth, which decreases once the worms leave these layers (Aira *et al.*, 2007).

Microorganisms: study of their abundance and diversity in the vermicompost process

de cerdo aplicada. En ambas tasas de purines aplicadas, la presencia de lombrices de tierra en las capas jóvenes estimula el crecimiento microbiano, que disminuye una vez que las lombrices abandonan dichas capas (Aira *et al.*, 2007).

Microorganismos: estudio de su abundancia y diversidad en el proceso de vermicompostaje

A pesar del conocimiento sobre la estrecha relación entre las lombrices de tierra y los microorganismos durante la biotransformación de los residuos orgánicos, es necesario conocer qué microorganismos participan en el proceso y la función. Debido a la complejidad y heterogeneidad del proceso de vermicompostaje, el conocimiento sobre la biodiversidad, dinámica y funcionalidad microbiana es muy escaso, y los resultados obtenidos en muchos casos son contradictorios (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014).

El estudio de la ecología microbiana se centra en dos aspectos importantes: la biodiversidad de los microorganismos que incluye el aislamiento, identificación, cuantificación y actividad en su hábitat (Madigan *et al.*, 2009). Existe en la literatura especializada métodos específicos que permiten conocer la estructura y funcionalidad de las poblaciones microbianas implicadas en el vermicompostaje, que van desde los medios de cultivos tradicionales, hasta el empleo de técnicas basadas en marcadores moleculares.

Los métodos clásicos de detección de microorganismos consisten en disponer las células microbianas viables sobre un medio sólido o líquido. El método clásico es eficaz para detectar microorganismos cuando estos se encuentran en una proporción significativa (Atlas y Bartha, 2001). La determinación de grupos específicos empleando medios selectivos puede proporcionar datos fiables. Sin embargo, el recuento de todas las células de una muestra usando un medio único y una sola serie de condiciones de crecimiento puede resultar en una estimación baja, conocida como anomalía del recuento en medio sólido (Madigan *et al.*, 2009).

Por la sencillez del cultivo en medio sólido, ha sido comúnmente usada para cuantificar cambios en el número de microorganismos. La utilización de medios de cultivo diferenciales permiten el crecimiento de microorganismos con capacidades fisiológicas específicas, esta metodología ha sido empleada para estudiar la diversidad de bacterias heterótrofas involucradas en distintos tipos de compostaje. Los medios de cultivos tradicionales se han empleado para caracterizar poblaciones microbianas durante el

Despite the knowledge about the close relationship between earthworms and microorganisms during biotransformation of organic waste, it is necessary to know which microorganisms participate in the process and what role they play. Because of the complexity and heterogeneity of the vermicomposting process, knowledge about biodiversity, microbial dynamics and functionality is very limited, and the results often are contradictory (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014).

The study of microbial ecology focuses on two important aspects: biodiversity of microorganisms including isolation, identification, quantification and activity in their habitat (Madigan *et al.*, 2009). There are specific methods in the literature that allow to know the structure and functionality of the microbial populations involved in vermicomposting, ranging from traditional culture media to the use of techniques based on molecular markers.

The classical methods of detecting microorganisms are to provide the viable microbial cells on a solid or liquid medium. The classical method is effective to detect microorganisms when they are in a significant proportion (Atlas and Bartha, 2001). The determination of specific groups using selective media can provide reliable data. However, the counting of all cells in a sample using a single medium and a single set of growth conditions may result in a low estimate, known as anomaly count in solid medium (Madigan *et al.*, 2009).

Due to the simplicity of culture in solid medium, it has been commonly used to quantify changes in the number of microorganisms. The use of differential culture media allows the growth of microorganisms with specific physiological capabilities, this methodology has been used to study the diversity of heterotrophic bacteria involved in different types of composting. The traditional culture media have been used to characterize microbial populations during the vermicomposting of organic residues, grouping them into three taxonomic categories (bacteria, actinomycetes and fungi) (Durán and Henríquez, 2007). The use of means of selective cultures usually are used to quantify bacteria, fungi and actinomycetes in the transformation of waste, such as horse manure, coffee pulp and straw vermicomposting oats (Raphael and Velmourougane, 2011; Polo *et al.*, 2012; Quintero, 2014).

Although traditional culture methods provide relevant information on the abundance of many microorganisms involved in vermicomposting of different types of

vermicompostaje de residuos orgánicos, agrupándolos en tres categorías taxonómicas (bacterias, actinomicetos y hongos) (Durán y Henríquez, 2007). El uso de los medio de cultivos selectivos por lo común son empleados para cuantificar bacterias, hongos y actinomicetos en la transformación de residuos, como el estiércol equino, pulpa de café y paja de avena vermicomposteados (Raphaely y Velmourougane, 2011; Polo *et al.*, 2012; Quintero, 2014).

A pesar de que los métodos de cultivos tradicionales proporcionan información relevante sobre la abundancia de microorganismos involucrados en el vermicompostaje de distintos tipos de residuos, probablemente subestima la verdadera densidad de la población microbiana, ya que muchos microorganismos son incapaces de desarrollarse en los medios de cultivos convencionales. Con las técnicas de enumeración de organismos viables se obtienen no más de 10% y hasta menos de 1% de esos valores (Alexander, 1980; Campbell, 2001).

En años recientes, el desarrollo de nuevas técnicas en microbiología ha permitido el estudio de los microorganismos presentes en diversos tipos de muestras biológicas sin necesidad de ser cultivados. Una de estas técnicas son los marcadores moleculares. Las nuevas técnicas de análisis de microorganismos, basadas en el análisis de patrones de ADN, patrones de ácidos grasos y patrones de sustratos carbonados son de gran utilidad ya que proporcionan información sobre la estructura y diversidad de las comunidades microbianas, permiten comparar entre residuos orgánicos iniciales y vermicompostados (Vargas-Machuca, 2010). Con el crecimiento de la investigación genética y la clasificación bacteriana, los marcadores moleculares son una herramienta importante para identificar especies bacterianas. El análisis del ADN contenido en una muestra, permite estudiar la diversidad biológica de los microorganismos activos, aletargados o esporulados, que la coloca como la técnica más utilizada (Weilong *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2014).

Muchos estudios sobre la biodiversidad microbiana, no necesitan aislar los microorganismos para cuantificarlos o identificarlos. En su lugar se recurre a estos marcadores moleculares para medir la biodiversidad. La literatura reciente reporta un número significativo de técnicas moleculares, alternativas, sensibles y selectivas para la detección, enumeración e identificación de microorganismos en diferentes muestras ambientales incluyendo el vermicompostaje (Palomino-Camargo y Gonzáles-Muños, 2014). Una de las técnicas mayormente utilizada para investigar las

residuos, it probably underestimates the true density of the microbial population, since many microorganisms are unable to develop in the media of conventional crops. With techniques of enumeration of viable organisms, no more than 10% and up to less than 1% of these values are obtained (Alexander, 1980; Campbell, 2001).

In recent years, the development of new techniques in microbiology has allowed the study of microorganisms present in various types of biological samples without the need for cultivation. One of these techniques are molecular markers. New techniques for analyzing microorganisms based on the analysis of DNA patterns, fatty acid patterns and carbonate substrates are useful because they provide information on the structure and diversity of microbial communities, allowing the comparison between initial organic residues and vermicomposted (Vargas-Machuca, 2010). With the growth of genetic research and classification bacterial, molecular markers are an important tool to identify bacterial species. The analysis of the DNA contained in a sample, allows to study the biodiversity of all active, dormant or sporulated microorganisms, which places it as one of the most commonly used techniques (Weilong *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2014).

Many studies on microbial biodiversity do not need to isolate microorganisms to quantify or identify them. Instead, these molecular markers are used to measure biodiversity. Recent literature reports a significant number of molecular, alternative, sensitive and selective techniques for the detection, enumeration and identification of microorganisms in different environmental samples including vermicomposting (Palomino-Camargo and Gonzáles-Muños, 2014). One of the techniques mostly used to investigate microbial communities associated with vermicomposting is PCR-DGGE. It has been used to differentiate bacteria based on Sequence differences in his 16S rDNA and be used to identify new microorganisms which are rare or noncultivable or to monitor variation in microbial structure on the abundance of kinds of bacteria and fungi, with which one can identify specific taxa bacteria as Gammaproteobacteria, Betaproteobacteria, Actinobacteria and Alphaproteobacteria during vermicomposting (Hong *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2013).

The use of PCR-DGGE techniques has revolutionized the knowledge about the microbial ecology of the degradation processes of organic compounds in the soil and other types

comunidades microbianas asociadas al vermicompostaje es la PCR-DGGE. Se ha utilizado para diferenciar bacterias sobre la base de las diferencias de secuencia en su rDNA 16S y ser usada para identificar nuevos microorganismos que son raros o no cultivables o para para monitorear la variación en la estructura microbiana, relativo a la abundancia de clases de bacterias y hongos, con la que se pueden identificar taxones específicos de bacterias como las Gammaproteobacteria, Betaproteobacteria, Actinobacteria y Alphaproteobacteria durante el vermicompostaje (Hong *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2013).

El uso de las técnicas de PCR-DGGE, ha revolucionado el conocimiento sobre la ecología microbiana de los procesos de degradación de compuestos orgánicos en el suelo y otros tipos de muestras ambientales. Permite monitorear poblaciones microbianas concretas y sus actividades sin recurrir al cultivo en medios selectivos. Usando técnicas de PCR-DGGE han encontrado que los taxones de bacterias Actinobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Firmicutes, Cianobacterias, Bacteroidetes, Actinomycetes y los hongos Sordariomycetes, Ascomycotina, Basidiomycota y Zygomycota son los organismos dominantes durante el proceso de vermicompostaje de residuos vegetales de la col, lechuga, cáscara de papa, residuos de frutas y verduras frescas (Huang *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2014).

Conclusiones

El vermicompostaje es un proceso biotecnológico para el tratamiento de residuos orgánicos, en el que las lombrices y los microorganismos juegan un papel central, además, las lombrices de tierra se han considerado como indicadores de la sostenibilidad de las prácticas agrícolas que los agricultores pueden utilizar, optimizando de esta manera los diversos sistemas agrícolas.

Una de las aplicaciones de la vermicomposta, es en la agricultura convencional, como enmienda, abono o fertilizantes orgánicos, debido a sus cualidades agrícolas, que incluso son superiores a otras enmiendas orgánicas. La presencia de materia orgánica parcialmente humificada, su carácter coloidal y baja densidad, le proporcionan al suelo propiedades físicas, químicas y biológicas

of environmental samples. It allows monitoring specific microbial populations and their activities without resorting to cultivation in selective media. Using PCR-DGGE found that taxa of bacteria Actinobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Firmicutes, Cyanobacterias, Bacteroidetes, Actinomycetes and Sordariomycetes, Ascomycotina, Basidiomycota and Zygomycota fungi are the dominant organisms during the process of vermicomposting plant waste cabbage, lettuce, potato peels, residues of fresh fruits and vegetables (Huang *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2014).

Conclusions

The vermicomposting is a biotechnology for organic waste treatment process, in which the worms and microorganisms play a central role, in addition, earthworms are considered as indicators of the sustainability of agricultural practices that farmers can use, thus optimizing the various agricultural systems.

One of the applications of the vermicompost, is in conventional agriculture, as an amendment, fertilizer or organic fertilizers, due to its agricultural qualities, which are even superior to other organic amendments. The presence of partially humid organic matter, its colloidal character and low density, give the soil exceptional physical, chemical and biological properties. The environmental problems caused by the contamination of soils by different compounds, whether organic, xenobiotic or heavy metals, is a global concern. The use of vermicompost as a biological purification technique is a viable alternative with promising environmental advantages.

Despite the various applications of the vermicompost, there are scientific activities to be developed in the future, such as the study of microbial dynamics and biodiversity, which have already been achieved, related to the identification of microorganisms with a large biotechnological potential and industrial. Recently has been considered its potential use in modern medicine, reducing blood pressure, thinning blood and dissolving blood clots in patients with stroke and heart, cure for cancer, cure for arthritis and rheumatism, as an anti-inflammatory agent, source of antibiotics and as a rich source of high quality proteins.

excepcionales. Los problemas ambientales ocasionados por la contaminación de suelos por diferentes compuestos, ya sea orgánico, xenobiótico o metales pesados, es una preocupación global. El uso de la vermicomposta como técnica de depuración biológica, es una alternativa viable con ventajas medioambientales prometedora.

A pesar de las diversas aplicaciones que tiene la vermicomposta, existen actividades científicas a desarrollar en el futuro, como el estudio de la dinámica y biodiversidad microbiana, de la que ya se han obtenido avances, relacionados con la identificación de microorganismos con amplio potencial biotecnológico e industrial. Recientemente se ha considerado su uso potencial en la medicina moderna, en la reducción de la presión arterial, el adelgazamiento de la sangre y disolución de los coágulos de sangre en pacientes con accidentes cerebrovasculares y del corazón, cura para el cáncer, cura para la artritis y reumatismos, como agente anti-inflamatorio, fuente de antibióticos y como una fuente rica de proteínas de alta calidad.

En consideración con lo anterior el vermicompostaje es una tecnología de gestión de residuos de manera eficiente y respetuosa del medio ambiente, a un nivel que puede ser fácilmente almacenado, manipulado, sin efectos adversos en cultivos agrícolas. Es una tecnología ecológica útil para las prácticas agrícolas ya que mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo, favoreciendo las condiciones nutricionales de los cultivos.

Literatura citada

- Abd, M. L.; Che, J. M. L.; Kamil, Y. M.; Tengku, I. T. H.; Harun, R. and Juahir, H. 2009. Influences of bedding material in vermicomposting process. *Int. J. Biol.* 1(1):81-91.
- Acosta, Y. y Paolini, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo Calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agron. Trop.* 55(2):217-232.
- Adil, A. A. and Jaikishun, S. 2010. An investigation into the vermicomposting of sugarcane bagasse and rice straw and its subsequent utilization in cultivation of *Phaseolus vulgaris* L. in Guyana. *Am. Eur. J. Agric. Environ. Sci.* 8(6):666-671.
- Aira, M.; Monroy, F. and Domínguez, J. 2007. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Sci. Total Environ.* 385(1-3):252-261.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 2ª edición. Traducción del inglés por Juan José Peña Cabriaes. AGT Editores. México. 491 p.
- Antonio, C. R.; Mendoza, M. A. M.; Chávez, C. M. Y.; Rivera, A. J. L. y Cruz, G. M. J. 2011. Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol. *Afinidad.* 68:38-43.
- Artavia, S.; Uribe, L.; Saborío, F.; Arauz, L. F. y Castro, L. 2010. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquizque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agron. Costarric.* 34(1):17-29.
- Asim, N.; Emdadi, Z.; Mohammad, M.; Yarmo, M. A. and Sopian, K. 2015. Agricultural solid wastes for green desiccant applications: an overview of research achievements, opportunities and perspectives. *J. Cleaner Produc.* 91:26-35.
- Atlas, R. M. y Bartha, R. 2001. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ª edición. Trad. Corzo, A.; Gabarrón, J.; García, A.; Gorostiza, A.; Montolio, M. y Rodríguez, A. Addison-Wesley, España. 677 p.
- Balakrishnan, M. and Batra, V. S. 2011. Valorization of solid waste in sugar factories with possible applications in India: A review. *J. Environ. Manag.* 92(11):2886-2891.
- Bhandarkar, B. A.; Kakde, S. A.; Sonar, S. K. and Sayyed, A. S. 2014. Vermicomposting from bagasse by using *Eudrilus eugeniae*. *Int. J. Res. Eng. Technol.* 3(9):14-19.
- Basheer, M. and Agrawal, O. P. 2013. Management of paper waste by vermicomposting using epigeic earthworm, *Eudrilus eugeniae* in Gwalior, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2(4):42-47.
- Campbell, R. 2001. Ecología microbiana. 1ª edición. Trad. Ortega, J. J. LIMUSA. México. 268 p.
- Cardoso-Vigueros, L. y Ramírez-Camperos, E. 2006. Biodegradación de desechos de curtiduría y lodo residual por composteo y vermicomposteo. *Ingeniería Hidráulica en México.* 21(2):93-103.
- Cardoen, D.; Joshi, P.; Diels, L.; Sarma, P. M. and Pant, D. 2015. Agriculture biomass in India: Part 2. Post-harvest losses, cost and environmental impacts. *Resources, Conservation and Recycling.* 101:143-153.
- Castillo, J. M.; Romero, E. and Nogales, R. 2013. Dynamics of microbial communities related to biochemical parameters during vermicomposting and maturation of agroindustrial lignocellulose wastes. *Bio. Technol.* 146:345-354.
- Castro, L.; Flores, L. y Uribe, L. 2011. Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agron. Costarric.* 35(2):21-32.
- Clive, E.; Norman, A. and Scott, G. 2006. Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *BioCycle.* 47(5):28-31.

End of the English version



- Contreras, J.; Rojas, J. y Acevedo, I. 2013. Efecto del vermicompost sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. *In: XX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. San Juan de Los Morros, 25 al 29 de noviembre de 2013. San Juan de Los Morros, Venezuela.
- Contreras-Blancas, E.; Ruíz-Valdiviezo, V.M.; Santoyo-Tepole, F.; Luna-Guido, M.; Meza-Gordillo, R.; Dendooven, L. and Gutiérrez-Miceli, F. A. 2014. Evaluation of Worm-Bed Leachate as an antifungal agent against pathogenic fungus, *Colletotrichum gloeosporioides*. *Compost Science & Utilization*. 22(1):23-32.
- Domínguez, J.; Gómez-Brandón, M. y Lazcano, C. 2010. Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. *Acta Zool. Mex.* 2:373-383.
- Durán, L. y Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostas producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agron. Costarric.* 31(1):41-51.
- Edwards, A. C.; Arancon, Q. N.; Vasko-Bennett, M.; Askar, A.; Keeney, G. and Little, B. 2010a. Suppression of green peach aphid (*Myzus persicae*) (Sulz.), citrus mealybug (*Planococcus citri*) (Risso), and two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) (Koch.) attacks on tomatoes and cucumbers by aqueous extracts from vermicomposts. *Crop Protection*. 29(1):80-93.
- Edwards, A. C.; Arancon, Q. N.; Vasko-Bennett, M.; Askar, A. and Keeney, G. 2010b. Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymna vittatum*) (Fabr.) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta*) (L.) on tomatoes. *Pedobiologia*. 53(2):141-148.
- García, I. C.; Gil, S. F.; Hernández, F. T. y Trasar, C. C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa, España. 371 p.
- Garg, V. K.; Suthar, S. and Yadav, A. 2012. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. *Bio. Technol.* 126:437-443.
- Gómez-Brandón, M.; Lazcano, C.; Lores, M. y Domínguez, J. 2010. Papel de las lombrices de tierra en la degradación del bagazo de uva: efectos sobre las características químicas y la microflora en las primeras etapas del proceso. *Acta Zool. Mex.* 2:397-408.
- Henríquez, C.; Uribe, L.; Valenciano, A. y Nogales, R. 2014. Actividad enzimática del suelo -deshidrogenasa, β -glucosidasa, fosfatasa y ureasa- bajo diferentes cultivos. *Agron. Costarric.* 38(1):43-54.
- Hernández-Rodríguez, O. A.; López-Díaz, J. C.; Arras-Vota, A. M.; Quezada-Solís, J. and Ojeda-Barríos, D. 2012. Quality of vermicompost obtained from residues of forestry and livestock. *Sustainable Agriculture Research*. 1(1):70-76.
- Hong, S. W.; Lee, J. L. and Chung, K. S. 2011. Effect of enzyme producing microorganisms on the biomass of epigeic earthworms (*Eisenia fetida*) in vermicompost. *Bio. Technol.* 102(10):6344-6347.
- Huang, K.; Fusheng, L.; Yongfen, W.; Xiaoyong, F. and Xuemin, C. 2014. Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bio. Technol.* 170:45-52.
- Huang, K.; Li, F.; Wei, Y.; Chen, X. and Fu, X. 2013. Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia fetida*. *Bio. Technol.* 150:235-241.
- Jack, A. L. H. 2012. Vermicompost suppression of *Pythium aphanidermatum* seedling disease: Practical applications and an exploration of the mechanisms of disease suppression. Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. Published by ProQuest LLC. 154 p.
- Khomami, A. M. and Moharam, M. G. 2013. Evaluation of sugar cane bagasse vermicompost as potting media on growth and nutrition of *Dieffenbachia amoena* 'Tropic Snow'. *Int. J. Agron. Plant Produc.* 4(8):1806-1812.
- Madigan, M. T.; Martinko, J. M.; Dunlap, P. V. y Clark, D. P. 2009. *Brock Biología de los microorganismos*. 12ª edición. Trad. Barranchina, C.; García, L. C.; Berlanga, M.; Prats, M. A.; Claros, D. D.; Ruiz, A. J.; Gacto, F. M. y Ruiz-Bravo, A. Pearson Educación, España. 1259 p.
- Mainoo, N. O. K.; Barrington, S.; Whalen, J. K. and Sampedro, L. 2009. Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana. *Bio. Technol.* 100:5872-5875.
- Martínez-Cordeiro, H.; Álvarez-Casas, M.; Lores, M. y Domínguez, J. 2013. Vermicompostaje del bagazo de uva: fuente de enmienda orgánica de alta calidad agrícola y de polifenoles bioactivos. *Recursos Rurais*. 9:55-63.
- Masciandaro, G.; Bianchi, V.; Macci, C.; Doni, S.; Ceccanti, B. and Iannelli, R. 2010. Potential of on-site vermicomposting of sewage sludge in soil quality improvement. *Desalination and Water Treatment*. 23(1-3):123-128.
- Meiyan, X.; Xiaowei, Li.; Jian, Y.; Zhidong, H. and Yongsun, Lu. 2012. Changes in the chemical characteristics of water-extracted organic matter from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. *J. Hazardous Materials*. 205-206(29):24-31.
- Moreno, J.; Moral, R.; García, M. J. L.; Pascual, J. A. y Bernal, M. P. 2014. Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones. Recursos orgánicos: aspectos agronómicos y medioambientales. Colección: de residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Ediciones Mundi-Prensa, España. 176 p.
- Navarro, P.; Moral, H.; Gómez, L. y Mataix, B. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Espagrac. Edición electrónica. Universidad de Alicante. 155 p.
- Nigam, P. S.; Gupta, N. and Anthwal, A. 2009. Pre-treatment of agro-industrial residues. Chapter 2:13-33. *In: biotechnology for agro-industrial residues utilisation*. Nigam, P. S. and Pandey, A. (Eds.). Springer Science+Business Media B.V. 466 p.
- Palomino-Camargo, C. y González-Muñoz, Y. 2014. Técnicas moleculares para la detección e identificación de patógenos en alimentos: ventajas y limitaciones. *Rev. Perú. Med. Exp. Salud Pública*. 31(3):535-546.
- Polo, H. A. M.; Marcano, L. y Martínez, R. 2012. Evaluación de la calidad del humus producido por *Eisenia andrei* a partir de tres sustratos orgánicos. *Bol. Centro Invest. Biol.* 46(3):263-282.
- Ponmani, S. and Udayasoorian, C. 2014. Enzyme activities and microbial dynamics of vermicompost of papermill sludge by the earthworm species - *Eudrilus eugeniae*. *Int. J. Current Res.* 6(11):9952-9958.
- Quintero, L. R. 2014. Poblaciones microbianas, actividades enzimáticas y sustancias húmicas en la biotransformación de residuos. *Terra Latinoam.* 32:161-172.
- Quintero-Lizaola, R.; Ferrera-Cerrato, R. y Etchevers-Barra, J. D. 2005. Manual para la medición de actividades enzimáticas en compost y vermicompost. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México, México. 51 p.
- Rama, L. Ch. S., P.; Chandrasekhar, R. P.; Sreelatha, T.; Madhavi, M.; Padmaja, G. and Sireesha, A. 2014. Changes in enzyme activities during vermicomposting and normal composting of vegetable market waste. *Agric. Sci. Digest*. 34(2):107-110.

- Ramos, A. C. 2006. Los residuos en la industria farmacéutica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas. 37(1):25-31.
- Raphael, K. and Velmourougane, K. 2011. Chemical and microbiological changes during vermicomposting of coffee pulp using exotic (*Eudrilus eugeniae*) and native earthworm (*Perionyx ceylanensis*) species. Biodegradation. 22:497-507.
- Ravindran, B.; Contreras-Ramos, S. M. and Sekaran, G. 2015. Changes in earthworm gut associated enzymes and microbial diversity on the treatment of fermented tannery waste using epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae*. Ecol. Eng. 74:394-401.
- Rodríguez, M. R.; Alcantar, G. E. G.; Iñiguez, C. G.; Zamora, N. F.; García, L. P. M.; Ruiz, L. M. A. y Salcedo, P. E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. Interciencias. 35(7):515-520.
- Singh, D. and Suthar, S. 2012a. Vermicomposting of herbal pharmaceutical industry solid wastes. Ecol. Eng. 39:1-6.
- Singh, D. and Suthar, S. 2012b. Vermicomposting of herbal pharmaceutical industry waste: earthworm growth, plant-available nutrient and microbial quality of end materials. Bio. Technol. 112:179-185.
- Sreekanth, K.; Vishal, G. N.; Raghunandan, H. V. and Nitin, K. U. 2014. A review on managing of pharmaceutical waste in industry. Int. J. PharmTech Res. 6(3):899-907.
- Subramanian, S.; Sivarajan, M. and Saravanapriya, S. 2010. Chemical changes during vermicomposting of sago industry solid wastes. J. Hazardous Materials. 179(1-3):318-322.
- Suthar, S.; Mutiyarb, P. K. and Singh, Z. 2012. Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes. Bio. Technol. 116:214-219.
- Vargas-Machuca, R. N.; Domínguez, M. J. y Mato de la Iglesia, S. 2008. Vermicompostaje. In: compostaje. Moreno, C. J. y Moral, H. R. (Edit.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 pp.
- Vargas-Machuca, R. N. 2010. Vermicompostaje en el reciclado de residuos agroindustriales. In: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 de Noviembre del 2010. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Weilong, L.; Lv, L.; Asaduzzaman, K. M. and Feizhou, Z. 2012. Popular molecular markers in bacteria. Mol. Gen. Microbiol. Virol. 27(3):103-107.
- Yuxiang, C.; Quanguo, Z.; Yufen, Z.; Jing, C.; Dongguang, Z. and Jin, T. 2015. Changes in fibrolytic enzyme activity during vermicomposting of maize stover by an anecic earthworm *Amyntas hupeiensis*. Polymer Degradation and Stability. 120:169-177.