

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

Vermicomposting: I 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 ecotecnológico de bajo costo que permite la bio-oxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, del cual se obtiene la vermicomposta, un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina. Este proceso tecnológico eficiente puede convertir residuos orgánicos en productos de valor agregado para las prácticas de restauración ecológica y programas de fertilidad del suelo. El objetivo de esta revisión, es presentar los avances reportados en la literatura científica acerca del proceso de vermicompostaje, con la finalidad de comprender las cualidades y virtudes de esta tecnología alternativa en la conversión de residuos orgánicos sólidos en productos estables. En este documento se hace una breve revisión sobre bases que dieron paso al uso de lombrices en la fertilización del suelo, desde civilizaciones antiguas hasta la implementación de invernaderos de alta tecnología, tanto así que el vermicompostaje está llamado a hacer la segunda revolución verde para la generación de fertilizante orgánico y producción de alimentos sanos, e incluso para la generación de proteína de alta calidad para alimento animal. Se describen características de algunas especies de lombrices adecuadas para su manejo, así como la función que desempeñan en

Abstract

The vermicomposting is a low cost eco-technological process that allows the bio-oxidation, degradation and stabilization of organic residues by the joint action of worms and microorganisms, from which the vermicompost is obtained, a final product stabilized, homogenous and fine granulometry. This efficient technological process can convert organic waste into value-added products for ecological restoration practices and soil fertility programs. The objective of this review is to present the advances reported in the scientific literature about the vermicomposting process, in order to understand the qualities and virtues of this alternative technology in the conversion of solid organic residues to stable products. In this document a brief review is made on bases that gave way to the use of earthworms in soil fertilization, from ancient civilizations to the implementation of high tech greenhouses at present, so much so that the vermicomposting is called to make the second green revolution for the generation of organic fertilizer and production of healthy food, and even for the generation of high quality protein for animal feed. Outstanding characteristics are described of some earthworm species that make them suitable for their management, as well as their role in the recycling of organic matter. A review

* Recibido: febrero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

reciclaje de la materia orgánica. Se hace una revisión de residuos orgánicos convencionales utilizados como alimento para lombrices, que al ser estabilizados mejoran el suelo y promueven la producción de los cultivos.

Palabras clave: bio-oxidación, lombrices de tierra, microorganismos, residuos sólidos orgánicos, vermicompostaje.

Introducción

El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014). En el vermicompostaje los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, mientras que las lombrices actúan como conductores del proceso mediante la fragmentación y el acondicionamiento del sustrato para la actividad microbiológica (Domínguez, 2004; Aira *et al.*, 2009; Gómez-Brandón *et al.*, 2011a). Con el propósito de convertir residuos orgánicos en vermicomposta, que es un producto orgánico de alto valor agrícola (Moreno *et al.*, 2014).

Las lombrices han sido apreciadas por civilizaciones antiguas, que valoraban el papel que desempeñan en la fertilización del suelo, Charles Darwin las consideró como organismos importantes en el suelo por su papel en la descomposición de materiales vegetales muertos (Edwards, 2004). La lombricultura como actividad es de reciente creación e inicia a mediados del siglo XX, para los años cuarenta su cultivo se intensificó para fines comerciales y su relevancia como proceso para estabilización de residuos orgánicos se da en los años setenta en Europa, con una notable dimensión de algunos centros de producción de lombrices con expectativas comerciales para reducir desechos sólidos en los vertederos (Schuldt, 2006; Sinha *et al.*, 2010a).

La tecnología de vermicompostaje en la gestión de los residuos orgánicos convencionales y no convencionales, ha crecido considerablemente como resultado de grandes avances científicos en varias partes del mundo (Singh *et al.*, 2011). Esta estrategia tiene la finalidad de aprovechar y reducir los volúmenes de residuos orgánicos, que generan problemas ambientales. El vermicompostaje se ha utilizado

is made of the various types of conventional organic waste that are used as food for earthworms, which, when stabilized, enrich the soil nutritively and promote crop production.

Keywords: bio-oxidation, earthworms, microorganisms, organic solid waste, vermicomposting.

Introduction

The vermicomposting is a process of bio-oxidation, degradation and stabilization of organic matter mediated by the combined action of earthworms and microorganisms under aerobic conditions and mesophilic, with is obtained a stabilized end product (Vargas-Machuca, 2010; Moreno *et al.*, 2014). In vermicomposting the microorganisms are responsible for the biochemical degradation organic matter, whereas earthworms they act as drivers of process through fragmentation and conditioning of the substrate for the activity microbiological (Domínguez, 2004; Aira *et al.*, 2009; Gómez-Brandón *et al.*, 2011a). It aims to convert organic waste into vermicompost, an organic product is characterized by its high agricultural value (Moreno *et al.*, 2014).

The earthworms have been appreciated by ancient civilizations, who valued the role they play in soil fertilization, Charles Darwin considered them important organisms in the soil for their role in the decomposition of dead plant materials (Edwards, 2004). The vermiculture as an activity is of recent creation and begins in the mid-twentieth century, for the forties their cultivation intensified for commercial purposes and its relevance as a process for stabilization of organic waste occurs in the seventies in Europe, with a remarkable dimension some production centers worms commercial expectative to reduce solid waste in landfills (Schuldt, 2006; Sinha *et al.*, 2010a).

The vermicomposting technology in the treatment and management of conventional and unconventional organic waste has grown considerably in recent years as a result of scientific breakthroughs in various parts of the world (Singh *et al.*, 2011). This treatment strategy has the purpose of taking advantage of and reducing the volumes of organic waste, which generate environmental problems. The vermicomposting has been used to exploit the excreta of various animals as substrate for earthworms, and generate

para aprovechar las excretas de animales como sustrato para las lombrices y generar fertilizantes orgánicos, mejorar los suelos y estimular la producción de los cultivos (Morales *et al.*, 2009; Nieto-Garibay *et al.*, 2010; Carvajal y Mera, 2010).

El objetivo de este documento fue presentar avances reportados en la literatura científica acerca del proceso de vermicompostaje, con la finalidad de comprender los complejos mecanismos en la relación lombriz-microorganismos, interacción que incrementa las tasas de descomposición del material orgánico, así como conocer las cualidades y virtudes de esta tecnología la conversión de residuos orgánicos sólidos a productos estables.

Historia y avance de la lombricultura y vermicompostaje

El vermicompostaje, es el proceso donde las lombrices son utilizadas para convertir residuos orgánicos en vermicomposta, no confundirse con el vermicultivo o lombricultura, cuyo objetivo es maximizar el cultivo de lombrices sin perseguir una óptima bioestabilización del residuo para la alimentación de las mismas; aunque ambos objetivos se logran simultáneamente (Moreno *et al.*, 2014).

La lombricultura combina las virtudes y cualidades que la hace potencialmente viable. La importancia de las lombrices de tierra no es un fenómeno nuevo. La influencia de las lombrices en los suelos agrícolas era conocida en las antiguas civilizaciones griegas y egipcias que valoraban el papel que desempeñaban las lombrices en el suelo. Los antiguos egipcios fueron los primeros en reconocer que las lombrices de tierra aumentaban la fertilización del suelo y lo consideraban animales sagrados, Aristóteles por su parte las definió como los “intestinos de la tierra”, pero fue Charles Darwin en el siglo XIX quién explica la verdadera función de las lombrices en el suelo, al relacionarlas con la descomposición de materiales vegetales muertos (Sinha *et al.*, 2010a; García-Pérez, 2011; Medany, 2011; Pathma y Sakthivel, 2012).

La lombricultura inició a mediados del siglo XX (Sinha *et al.*, 2009), pero las primeras referencias del beneficio de esta actividad al eliminar residuos orgánicos se dio en los años 30. A mediados de los años 40 se inicia el cultivo intensivo de las lombrices rojas de California en los Estados Unidos de América para obtener vermicomposta. Sin embargo, el conocimiento del proceso de vermicompostaje se inició en los años 70 con bases científicas y tecnológicas para el desarrollo de este sistema en Estados Unidos, Holanda, Inglaterra y Canadá (Kumar, 2005; Vargas-Machuca *et al.*, 2008).

organic fertilizers, improve soil and stimulate crop production (Morales *et al.*, 2009; Nieto-Garibay *et al.*, 2010; Carvajal and Mera, 2010).

The objective of this paper is to present advances reported in the scientific literature about the vermicomposting process, in order to understand the complex mechanisms in the relation worm-microorganisms, an important interaction that increases the decomposition rates of organic material, as well as knowing the qualities and virtues of this alternative technology in the conversion of solid organic waste into stable products.

History and progress of vermiculture and vermicomposting

The vermicomposting is the process in which worms are used to convert organic waste into vermicompost, not to be confused with vermiculture or vermicultures, whose objective is to maximize the cultivation of worms without pursuing an optimal biostabilization of the residue used for the feeding of the same; although sometimes both goals are achieved simultaneously (Moreno *et al.*, 2014).

The vermiculture as technology combines the virtues and qualities that makes it potentially viable. The importance of earthworms is not a new phenomenon. The influence of earthworms on agricultural soils was well known in the ancient Greek and Egyptian civilizations that valued the role of earthworms in the soil. The ancient Egyptians were the first to recognize the role that earthworms played in the fertilization of arable land, for which they were considered sacred animals, Aristotle on the other hand defined them as the “intestines of the earth”, but it was Charles Darwin in the nineteenth century who explains the true role of earthworms in the soil, to relate the decomposition of dead plant material (Sinha *et al.*, 2010a; García-Pérez, 2011; Medany, 2011; Pathma and Sakthivel, 2012).

The vermiculture had its began in the mid-twentieth century (Sinha *et al.*, 2009), but the first references the benefit of this activity by removing organic waste was in the 30s to mid 40 s intensive cultivation begins of California red worms in the United States of America to obtain vermicompost. However, knowledge of the vermicomposting process began in the 70s to lay the scientific and technological basis for the development of this system in countries like the United States, Holland, England and Canada (Kumar, 2005; Vargas-Machuca *et al.*, 2008).

Para esta década el vermicompostaje alcanza relevancia en Europa, África, Asia, América latina y Australia, donde su desarrollo se da espectacularmente con una notable importancia de algunos centros de producción de lombrices (Schuldt, 2006). Empresas dedicadas al compostaje en varios países como Inglaterra, Francia, Holanda, Alemania, Estados Unidos de América, Italia, entre otros, desarrollan una visión comercial para la vermicomposta obtenida de diversos tipos de residuos orgánicos (Sinha *et al.*, 2009; Sinha *et al.*, 2010c).

Países como Estados Unidos de América, poseen algunas de las plantas para vermicompostaje más grandes del mundo, llegando a producir 3 410 t cada año en invernaderos de alta tecnología. En el Reino Unido se han creado plantas para composteo de residuos orgánicos, que pueden generar hasta 1 000 t anuales de vermicomposta. En Nueva Zelanda la capacidad de vermicompostaje de algunas compañías es de unos 5 a 6 mil toneladas de residuos verdes al año y planean vermicompostear aproximadamente 40 000 t de desechos de alimentos al año. En Australia con la utilización de residuos sólidos de las depuradoras de agua y tratamiento de aguas, cuentan con una capacidad de producción de vermicomposta de 600 t de abono orgánico para venta a los agricultores locales, con esta tecnología se ahorran más de 13 000 m³ de espacio en los vertederos cada año (Li *et al.*, 2010; Sinha *et al.*, 2010a).

Con mayor frecuencia los países desarrollados se preocupan y reconocen que los residuos orgánicos deben ser utilizados como recursos, en lugar de ser desechados en vertederos, generando problemas ambientales que son costosos de remediar. El reciclaje de la materia orgánica se puede lograr mediante métodos de tratamiento alternativos para obtener un producto estabilizado y comercializable.

Lombrices de tierra: agentes claves en el vermicompostaje

Las lombrices de tierra son gusanos segmentados celomados de hábitos terrestres, comunes en suelos húmedos y cuyo tamaño varía desde 1 cm de largo por 2 mm de grosor, hasta más de 1 m y 3 cm de largo y grosor respectivamente (Fragoso y Rojas, 2014). Representan la mayor biomasa animal en la mayoría de ecosistemas terrestres, influyen de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y realizan la modificación de la estructura del suelo, así como la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes (Domínguez *et al.*, 2009). La alteración se ve reflejada en la redistribución vertical y horizontal de la materia orgánica del suelo.

For this decade, vermicomposting is important in Europe, Africa, Asia, Latin America and Australia, where its development is spectacular, with a notable importance of some worm's production centers (Schuldt, 2006). Companies dedicated to composting in several countries such as England, France, Holland, Germany, USA, Italy, among others, develop a business vision for the vermicompost obtained from various types of organic waste (Sinha *et al.*, 2009; Sinha *et al.*, 2010c).

Countries like the United States of America own some of the largest vermicomposting plants in the world, producing 3 410 t each year in high tech greenhouses. In the United Kingdom, plants have been created to compost various organic waste, which can generate up to 1 000 t of vermicompost per year. In New Zealand the vermicomposting capacity of some companies is about 5 to 6 thousand tons of green waste a year and they plan to vermicompose approximately 40 000 t of food waste per year. In Australia with the use of solid waste from water treatment plants and water treatment, have a production capacity of vermicompost 600 t of organic fertilizer for sale to local farmers, with this technology will save more than 13 000 m³ space in landfills each year (Li *et al.*, 2010; Sinha *et al.*, 2010a).

More often developed countries are concerned and recognize that organic waste should be used as resources, rather than being disposed of in landfills, generating environmental problems that are costly to remedy. The recycling of the organic matter can be achieved by alternative treatment methods to obtain a stabilized and marketable product.

Earthworms: key agents in vermicomposting

The earthworms are segregated worms of mainly terrestrial habit, common in humid soils and whose size as adults varies from 1 cm in length by 2 mm in thickness, to more than 1 m and 3 cm in length and thickness respectively (Fragoso and Rojas, 2014). They represent the highest animal biomass in most terrestrial ecosystems, they influence in a very significant way the physical, chemical and biological properties of the soil, and they play an important role in the modification of the soil structure of the soil and in the acceleration of the decomposition organic matter and nutrient recycling (Domínguez *et al.*, 2009). The alteration is reflected in the vertical and horizontal redistribution of the soil organic matter.

Esta redistribución depende de los grupos ecológicos de lombrices, que de acuerdo a su localización en el suelo, comportamiento de alimentación y formación de madrigueras, se clasifican en tres categorías (Lemtiri *et al.*, 2014): lombrices endógenas que se mueven dentro del suelo para alimentarse de materia orgánica del suelo; mientras que los anécicas toman los restos orgánicos desde la superficie del suelo que arrastran dentro de las galerías, y las epigeas que viven permanentemente asociadas a acumulaciones de materia orgánica sobre la superficie del suelo (Kavdir y Ilay, 2011; Gómez-Brandón *et al.*, 2011b; Moreno *et al.*, 2014).

El número de especies de lombrices de tierra descritas hasta el momento es muy elevado, de acuerdo con Reynolds y Wetzell (2015), hay aproximadamente 3 627 especies. Para el vermicompostaje las especies adecuadas son aquellas que muestran características convenientes, como capacidad natural para colonizar los desechos orgánicos, altas tasas de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica, tolerancia a una amplia gama de factores ambientales, ciclos de vida cortos, altas tasas reproductivas y resistencia al manejo. De las especies conocidas, sólo cinco se han utilizado ampliamente en el vermicompostaje; *Eisenia andrei* (Bouché, 1972), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Dendrobaena veneta* (Savigny, 1826), y en menor medida *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872) y *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867; Domínguez y Pérez-Losada, 2010; Yadav and Garg, 2011; Domínguez y Edwards, 2011a).

Las lombrices de tierra de acuerdo a su zona climática se agrupan en dos categorías; son propias de la zona templada *Eisenia fetida* (Savigny 1826), *Eisenia andrei* (Bouché 1972), *Dendrodrilus rubidus* (Savigny 1826), *Dendrobaena veneta* (Rosa 1886), *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister 1843) y *Drawida nepalensis* (Michaelsen 1907); para la zona tropical *Eudrilus eugeniae* (Kinberg 1867), *Perionyx excavatus* (Perrier 1872) y *Polypheretima elongata* (Perrier 1872) (Domínguez, 2004; Domínguez y Edwards, 2011a; Moreno *et al.*, 2014). Se pueden encontrar en diversos hábitats, especialmente los oscuros y húmedos (Sinha *et al.*, 2010a). En el Cuadro 1, se resume las principales características de su ciclo de vida y requerimientos de temperatura y humedad de las principales especies usadas en el vermicompostaje (Moreno *et al.*, 2014).

Las lombrices de tierra mejoran la estructura del suelo y la actividad de comunidades microbianas, a través de la dispersión de inóculos con el pastoreo, la reducción del tamaño de partícula del material orgánico durante el paso intestinal,

This redistribution depends on the ecological groups of earthworms, which according to its location on the ground, feeding behavior and formation of burrows are classified into three categories (Lemtiri *et al.*, 2014): endogenous worms that move within the soil to feed on soil organic matter; while the anecicans take the organic remains from the surface of the soil that they drag inside the galleries, and the epigeous that live permanently associated with accumulations of organic matter on the surface of the soil (Kavdir and Ilay, 2011; Gómez-Brandón *et al.*, 2011b; Moreno *et al.*, 2014).

The number of earthworm species described so far is very high, according to Reynolds and Wetzell (2015), there are approximately 3 627 species. For vermicomposting, suitable species are those that exhibit suitable characteristics, such as natural ability to colonize organic waste, high rates of consumption, digestion and assimilation of organic matter, tolerance to a wide range of environmental factors, short life cycles, high reproductive rates and resistance to management. Of the known species, only five have been widely used in vermicomposting; *Eisenia andrei* (Bouche, 1972), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Dendrobaena veneta* (Savigny, 1826), and to a lesser extent *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872) and *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867; Domínguez and Pérez-Losada, 2010; Yadav and Garg, 2011; Domínguez and Edwards, 2011a).

The earthworms according to their climatic zone are grouped into two categories; they are typical of the temperate zone *Eisenia fetida* (Savigny 1826), *Eisenia andrei* (Bouché 1972), *Dendrodrilus rubidus* (Savigny 1826), *Dendrobaena veneta* (Rosa 1886), *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister 1843) and *Drawida nepalensis* (Michaelsen 1907); for the tropics *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867), *Perionyx excavatus* (Perrier 1872) and *Polypheretima elongata* (Perrier 1872) (Domínguez, 2004; Domínguez and Edwards, 2011a; Moreno *et al.*, 2014). Earthworms can be found in various habitats, especially the dark and damp (Sinha *et al.*, 2010a). In Table 1, is summarized the main characteristics of their life cycle and temperature and humidity requirements of the main species used in vermicomposting (Moreno *et al.*, 2014).

The earthworms modify the soil structure and activity of microbial communities through the dispersal of inocula with grazing, the reduction of the particle size of the organic material during the intestinal passage, the addition

la adición de azúcares y otras sustancias que facilitan la formación de agregados (Aira *et al.*, 2002; Domínguez, 2004). Durante el vermicompostaje las lombrices realizan actividades a nivel espacial y temporal, estas actividades pueden tener un efecto directo sobre el proceso, como la estimulación de la biomasa microbiana y la dispersión e interacción de los microorganismos con otros componentes biológicos del suelo. Como efectos indirectos las lombrices son responsables del emezclado de materiales modificados por ellas con otros sustratos orgánicos. Las lombrices también producen sustancias excretadas como urea y amonio que constituyen una fuente de nutriente asimilables por los microorganismos (Domínguez *et al.*, 2009; Aira y Domínguez, 2010).

of sugars and other substances, and facilitate the formation of aggregates (Aira *et al.*, 2002; Domínguez, 2004). During the vermicomposting worms active at both spatial and temporal level, these activities can have a direct effect on the process, as stimulation or reduction of microbial biomass and dispersion and interaction of microorganisms with other biological components of soil. As indirect effects in the relationships with those responsible for the aging and mixing of the materials modified by them with other organic substrates. The worms also produce excreted as urea and ammonium are a source of assimilable nutrient substances by microorganisms (Domínguez *et al.*, 2009; Aira and Domínguez, 2010).

Cuadro 1. Características biológicas y condiciones ambientales de las principales especies de lombrices de clima templado utilizadas en procesos de vermicompostaje.

Table 1. Biological characteristics and environmental conditions of the main species of earthworms temperate used in vermicomposting processes.

Características	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Dendrobaena veneta</i>	<i>Dendrobilus rubidus</i>	<i>Lumbricus rubellus</i>	<i>Drawida nepalensis</i>
Tamaño adultos (mm)	4-8*50-100	4-8*50-100	5-7*50-80	3-4*35-60	4*70-100	2-3*40-50
Peso medio adultos (g)	0.55	0.55	0.92	0.25	0.80	0.82
Ciclo de vida (días)	45-51	45-51	100-150	75	120-170	150
Tiempo de maduración (días)	28-30	21-26	65	54	74-91	34-42
Número cápsulas día ⁻¹	0.35-0.5	0.35-0.5	0.28	0.2	0.07-0.35	0.15
Viabilidad eclosión (%)	73-80	72	20	80	60-80	75-88
Número descendientes/cápsula	2.5-3.8	2.5-3.8	1.1	1.67	1	1.93
Temperatura óptima y límites (°C)	25 (0-35)	25 (0-35)	25 (15-25)	25 (15-25)	-	25
Humedad óptima y límites (%)	80-85 (70-90)	80-85 (70-90)	75 (65-85)	75 (65-85)	-	75

Fuente: Moreno *et al.* (2014).

En la actualidad la comunidad científica está en la búsqueda de una tecnología que sea “económicamente viable” (más barato y al alcance de todas las naciones), “ambientalmente sostenible” (amigable con el medio ambiente, la flora, la fauna, el suelo, el aire y el agua, sin ningún efecto sobre ellos) y “socialmente aceptable” (beneficioso para la sociedad sin ningún efecto adverso sobre la salud). En este sentido, la tecnología de la lombricultura combina estas virtudes y cualidades juntas. La lombricultura como tecnología está generando una revolución por las diversas aplicaciones que ésta tiene. Las lombrices de tierra como ingenieros del ecosistema juegan un papel como “gestor de residuos”, “gestor de suelo y mejoradores de fertilidad” y “promotor del crecimiento vegetal”.

At present, the scientific community is in search of a technology that is “economically viable” (cheaper, accessible to all nations), “environmentally sustainable” (friendly to the environment, flora, fauna, soil, air and water, with no effect on them) and “socially acceptable” (beneficial to society without any adverse effect on human health). In this sense, the technology of vermiculture combines all these virtues and qualities together. The vermiculture as technology is generating a revolution mainly by the diverse applications that this one has. Earthworms as ecosystem engineers play an important role as “waste manager”, “soil manager and fertility enhancers” and “plant growth promoter”.

Sin embargo, nuevos descubrimientos sobre su papel en “tratamiento de aguas residuales”, “la recuperación de suelos contaminados”, y más recientemente por el uso potencial en la medicina moderna para la protección de la “salud humana”, como 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”, han supuesto una revolución en los estudios de lombricultura (Sinha *et al.*, 2010a; Sinha *et al.*, 2010b).

Vermicompostaje: una estrategia de tratamiento para los residuos orgánicos

La tecnología del vermicompostaje se basa en el hábito de alimentación detritívoro de algunas especies de lombrices, organismos capaces de colonizar una gran variedad de sustratos orgánicos (Mamani-Mamani *et al.*, 2012). El vermicompostaje es un bioproceso que se considera como una alternativa viable para el compostaje de residuos orgánicos (Hait y Tare, 2011; Vig *et al.*, 2011). Las lombrices de tierra convierten y estabilizan los residuos orgánicos en un material parecido al humus, rico en nutrientes, llamado humus de lombriz, en ella las lombrices ejercen una acción tanto física como bioquímica (Garg *et al.*, 2012). La acción física incluye aireación, mezcla y molienda de los residuos orgánicos, en tanto que los microbios son responsables de la degradación y estabilización bioquímica (Aira *et al.*, 2008). La interacción lombriz-microorganismo transforma los materiales orgánicos insolubles a una forma soluble (Domínguez y Edwards, 2011b; Kui *et al.*, 2014).

La generación de residuos sólidos orgánicos ha llevado a la búsqueda de alternativas para su tratamiento y disposición final. Una alternativa de transformación de los residuos orgánicos, es la producción de humus de lombriz, propuesta ecológica al uso de fertilizantes químicos (Cabanillas *et al.*, 2013). El vermicompostaje está llamado a hacer la segunda revolución verde para la generación de fertilizante orgánico para su uso en la producción de alimentos sanos (Sinha *et al.*, 2010b; Sinha *et al.*, 2010c). Una de las principales contribuciones de la vermicomposta a los suelos es el aumento de la población y las actividades microbianas, factores clave en las tasas de reciclaje de nutrientes del suelo, producción de materiales de crecimiento para las plantas y supresores de infecciones y plagas en plantas (Arancon *et al.*, 2006), además favorece la disminución del deterioro del

However, new findings on its role in “wastewater treatment”, “recovery of contaminated soils”, and more recently for its potential use in modern medicine for the protection of “human health”, as in the reduction of blood pressure, thinning of blood and dissolution of 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 source rich “high-quality protein”, have brought a revolution in studies of vermiculture (Sinha *et al.*, 2010a; Sinha *et al.*, 2010b).

Vermicomposting: a treatment strategy for organic waste

The vermicomposting technology is based on feeding habit detritivore some species of worms, organisms capable of colonizing a wide variety of organic substrates (Mamani-Mamani *et al.*, 2012). The vermicompostaje is a bioprocess that is considered as a viable alternative for the composting of organic waste (Hait and Tare, 2011; Vig *et al.*, 2011). The earthworms make and stabilize organic waste in a material similar to humus, rich in nutrients, called earthworm humus, worms in it both physically exert action as biochemistry (Garg *et al.*, 2012). The physical action it includes aeration, mixture and grinding organic waste, whereas microbes they are responsible for biochemical degradation and stabilization (Aira *et al.*, 2008). The worm-microbe interaction becomes insoluble organic materials to a soluble form (Domínguez and Edwards, 2011b; Kui *et al.*, 2014).

The generation of organic solid waste has led to the search for alternatives for its treatment and final disposal. An alternative of transforming organic waste, is the production earthworm humus, proposal ecological the use of chemical fertilizers (Cabanillas *et al.*, 2013). The vermicomposting is called to make the second green revolution for generating organic fertilizer for use in the production of healthy food (Sinha *et al.*, 2010b; Sinha *et al.*, 2010c). One of the major contributions of vermicompost to the soil is the increase of the population and activities microbial, key factors in rates from nutrient recycling ground, production of materials growth for plants and suppressors infections and plant pests (Arancon *et al.*, 2006), also it promotes the reduction of environmental degradation with increasing use of various agricultural residues (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014). The decomposition of organic waste by earthworms is favored by the action of endosymbionts microorganisms

ambiente al incrementarse el aprovechamiento de diversos residuos agropecuarios (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014). La descomposición de los residuos orgánicos por lombrices se ve favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes de su intestino, estos producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y compuestos fenólicos, aumentando la mineralización del carbono y nitrógeno del material ingerido (Aira *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009).

Estudios han demostrado que el contenido de macronutrientes y micronutrientes en la vermicomposta es generalmente mayor que en el compost tradicional, contiene niveles altos de los principales nutrientes en forma más solubles como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en comparación con la composta normal, esta propiedad mejora la fertilidad del suelo física, química y biológicamente, teniendo como resultado mayor rendimiento de los cultivos. Sin embargo, las mejoras en el crecimiento de plantas y el aumento de los rendimientos no podrían explicarse completamente por la disponibilidad de los nutrientes. Estudios al respecto, sugieren que las vermicompostas contienen sustancias reguladoras de crecimiento o ácidos húmicos que son responsables del crecimiento de las plantas (Su *et al.*, 2015).

Residuos sólidos orgánicos: fuente de sustratos para el vermicompostaje

Existe un gran número de residuos orgánicos convencionales y no convencionales generados por diferentes actividades agrícolas, urbanas e industriales que han sido ensayados y utilizados exitosamente en los procesos de vermicompostaje (Singh *et al.*, 2011).

Los residuos convencionales

Incluyen a los tradicionales estiércoles de origen animal, que son considerados como materiales orgánicos naturales y óptimos para la alimentación y desarrollo de las lombrices. Los estiércoles han sido utilizados desde la antigüedad como mejoradores de suelo y como estimulantes en la producción de cultivos (Nieto-Garibay *et al.*, 2010). Entre los materiales que se han utilizado como sustrato para el desarrollo de lombrices de tierra destacan los estiércoles de bovinos, equinos, porcinos, aves de corral, conejos y ovinos (Gunadi y Edwards, 2003; Morales *et al.*, 2009). La gran disponibilidad y el aporte nutrimental hacen que sean una alternativa atractiva para generar fertilizantes orgánicos para suelos con deficiencias nutrimentales (Carvajal y Mera, 2010).

of the intestine, they produce extracellular enzymes that degrade cellulose and phenolic compounds, increasing the mineralization of carbon and nitrogen ingested material (Aira *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009).

Studies have shown that the content of macronutrients and micronutrients in the vermicompost is generally higher than in traditional compost; it contains high levels of the most soluble nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium compared to normal compost, this property improves soil fertility physically, chemically and biologically, resulting in higher crop yields. However, improvements in plant growth and increased yields could not be fully explained by the availability of nutrients. Related studies, suggest that contain vermicompost growth regulatory substances or humic acids which are responsible for plant growth (Su *et al.*, 2015).

Organic solid waste: source of substrates for vermicomposting

There are a number of conventional and unconventional organic waste generated by different agricultural, urban and industrial activities that have been tested and used successfully in the process of vermicomposting (Singh *et al.*, 2011).

The conventional waste

They include traditional manures of animal origin, which are considered as natural organic materials and optimal for feeding and development of various species of earthworms. The manures have been used since ancient times as soil improvers and as stimulants in crop production (Nieto-Garibay *et al.*, 2010). Among the materials that have been used as a substrate for the development of earthworm include manure of cattle, horses, pigs, poultry, rabbits and sheep (Gunadi and Edwards, 2003; Morales *et al.*, 2010). The high availability and nutritional contribution make it an attractive alternative to generate organic fertilizers for soils with nutritional deficiencies (Carvajal and Mera, 2010).

The cattle manure is a nutritionally well-balanced natural food for the worms, which requires no preconditioning although sometimes the presence of seeds requires precomposite (Moreno *et al.*, 2014). There is abundant information on using cattle manure for vermicomposting, as

El estiércol bovino es un alimento natural nutricionalmente bien balanceado para las lombrices, que no necesita precondicionamiento, aunque a veces la presencia de semillas exige un precomposteo (Moreno *et al.*, 2014). Existe abundante información sobre el uso de estiércol bovino para vermicompostaje, como antecedente está el uso del lixiviado y lavado de humus de lombriz (*Eisenia fetida*) de estiércol bovino para conocer el rendimiento del cultivo de frijol utilizando. Se ha demostrado que las plantas de frijol tratadas con lavado de vermicomposta propician plantas más altas, vainas más largas, y el mayor número de vainas y ramas laterales por planta (Ayyobi *et al.*, 2014).

El uso del estiércol de bovino se ha utilizado también para transformar residuos de la industria de la curtiduría con *Eudrilus eugeniae* previa fermentación con la bacteria *Selenomonas ruminantium* y posterior vermicompostaje mezclado con hojarasca. Se ha encontrado que los valores de pH y la relación C:N disminuyen significativamente al final del proceso, con buena humificación y mineralización de los polímeros (Ravindran *et al.*, 2013). El empleo de estiércol bovino en el tratamiento de purines de plantas de biogás y de residuos vegetales pre-procesados y posterior vermicompostaje se ha realizado con éxito. Propiedades como el pH, carbono orgánico, materia orgánica y relación C:N, se reduce considerablemente, con respecto a la materia prima inicial, además se tiene mayor concentración de nitrógeno, fósforo y potasio con estabilización óptima del residuo (Garg y Gupta, 2011; Yadav *et al.*, 2013). El vermicompostaje a base de estiércol de vaca genera un producto estabilizado, con una concentración de macros y micronutrientes importante (Hernández *et al.*, 2010).

Otro residuo de origen animal es el estiércol de aves, este contiene una elevada concentración de nitrógeno, por lo que se aconseja su mezcla con residuos orgánicos de alta relación C:N debido a su elevado contenido proteico. Sin embargo, está relativamente bien equilibrado como alimento para las lombrices. El uso del estiércol de aves para vermicompostaje no es tan extendido como el de bovino, trabajos reciente como el de Petmuenwai *et al.* (2013), sugieren el uso de estiércol de ave para vermicompostaje con diferentes residuos agroindustriales (pulpa de yuca, cáscara de yuca, cáscara de eucalipto y de palma aceitera), empleando *Eudrilus eugeniae*, promueve la sobrevivencia y crecimiento en estas lombrices cuando se usan estos residuos.

history is the use of leaching and washing vermicompost (*Eisenia fetida*) bovine manure to meet crop yield using bean. It has been shown that bean plants treated with vermicompost washing conducive taller plants, longer pods, and the highest number of pods per plant and lateral branches (Ayyobi *et al.*, 2014).

The use of bovine manure has also been used to transform waste from the tanning industry with *Eudrilus eugeniae* fermented with bacteria and subsequent vermicomposting *Selenomonas ruminantium* mixed with litter. It has been found that the pH and the C:N ratio decrease significantly at the end of the process, with good humification and mineralization polymers (Ravindran *et al.*, 2013). The use of bovine manure in the treatment of slurry of biogas plants and pre-processed vegetable residues and subsequent vermicomposting has been successfully performed. Properties like pH, organic carbon, organic matter and C:N ratio is considerably reduced with respect to the initial raw material, also it has higher concentration of nitrogen, phosphorus and potassium optimal stabilization of the residue (Garg and Gupta, 2011; Yadav *et al.*, 2013). The vermicomposting based on cow manure generates a stabilized product, with a concentration of macros and important micronutrients (Hernández *et al.*, 2010).

Another residue of animal origin is poultry manure, which contains a high concentration of nitrogen, so it is recommended to mix with organic residues with a high C:N ratio due to its high protein content. However, it is relatively well balanced as a food for worms. The use of poultry manure for vermicomposting is not as widespread as bovine, recent works such as Petmuenwai *et al.* (2013), suggest the use of poultry manure for vermicomposting with different agro-industrial wastes (cassava pulp, peel cassava, peel eucalyptus and oil palm) using *Eudrilus eugeniae*, it promotes the survival and growth in these worms when used these residues.

The rabbit manure, although having a high nitrogen content, is relatively balanced for use as groundworm feed. Sometimes due to its high ammonium content, it requires a previous washing for composting with worms. This type of waste has been used in combination with other manures, such as horse, goat and cattle, using *Eisenia fetida* for composting and use in melon cultivation in greenhouse.

El estiércol de conejo, aunque tiene un elevado contenido de nitrógeno, está relativamente equilibrado para su uso como alimento para lombrices de tierra. En ocasiones por su elevado contenido en amonio requiere un lavado previo para su compostaje con lombrices. Este tipo de residuo se ha empleado en combinación con otros estiércoles, como los de caballo, cabra y bovino, utilizando *Eisenia fetida* para compostaje y su uso en el cultivo de melón en invernadero. Este humus promueve un mayor diámetro ecuatorial y polar, espesor de la pulpa, peso del fruto y rendimiento, a mayor contenido de vermicomposta, lo que resulta ser un biofertilizante de alta calidad para potenciar la producción de este cultivo (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014).

El potencial del vermicompostaje para procesar grandes cantidades de estiércol de conejo con *E. fetida* en condiciones controladas genera buena expectativa. La disminución de pH, la estabilidad en la conductividad eléctrica, la disminución de la carga microbiana en el producto final, indica un mayor grado de estabilización del producto final. Estas características son importante para su uso seguro como enmienda orgánica para suelos (Gómez-Brandón *et al.*, 2013).

El uso de estiércol de origen ovino para vermicompostaje, es otra alternativa para la generación de biofertilizantes. Es un alimento equilibrado nutricionalmente para las lombrices de tierra, solo requiere precompostaje si hay semillas de hierbas. Algunos trabajos reportan su aplicación con diferentes objetivos (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014). Coulibaly y Zoro (2010), consideran que el crecimiento y reproducción de *Eudrilus eugeniae* se ve favorecido utilizando estiércol de ovino, pollo, cerdo y de vaca, por lo que recomiendan estas materias primas para el vermicompostaje a gran escala. El empleo de vermicomposta de estiércol de ovino con micorrizas y bacterias diazotróficas para el cultivo de plantas de maíz, ha demostrado que este tipo de humus genera mayor cantidad de hojas, peso húmedo, altura y diámetro del tallo. La adición de bacterias diazotróficas aumenta la colonización micorrizica y con ello el contenido de fósforo pero no de nitrógeno (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

Un producto de interés derivado del proceso de vermicompostaje son los extractos o téis. González *et al.* (2013), consideraron que los extractos presentan características químicas que dependen de su origen y tienen un efecto sobre el pH, conductividad eléctrica y concentración de nutrientes, así por ejemplo los extractos de la vermicomposta de estiércol de borrego y bovino mezclado

This humus promotes greater equatorial and polar diameter, thickness of the pulp, fruit weight and yield, higher content of vermicompost, which happens to be a biofertilizer high quality to enhance the production of this crop (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014).

The potential of vermicomposting to process large amounts of manure rabbit with *E. fetida* under controlled conditions generates good expectation. The decreasing pH, stability in electrical conductivity, decreasing the microbial load in the final product, indicating a higher degree of stabilizing the final product. These characteristics are important for its safe use as amended organic floor (Gómez-Brandón *et al.*, 2013).

The use of sheep manure for vermicomposting is another very interesting alternative for the generation of biofertilizers. It is a nutritionally balanced food for earthworms, it only requires pre-composting if there are herbal seeds. Some studies report their application with different objectives (Moreno-Reséndez *et al.*, 2014). Coulibaly and Zoro (2010), consider the growth and reproduction of *Eudrilus eugeniae* is favored using sheep manure, chicken, pork and beef, so we recommend these raw materials for large - scale vermicomposting. The use of sheep manure vermicompost mycorrhizal and diazotrophic for growing corn plants bacteria, has shown that this type of humus generated more leaves, wet weight, height and diameter of the stem. The addition of diazotrophic bacteria increases mycorrhizal colonization and with that the phosphorus content but not of nitrogen (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

A product of interest derived from the vermicompost process is extracts or teas. González *et al.* (2013), considered that the extracts present chemical characteristics that depend on their origin and have an effect on the pH, electrical conductivity and concentration of nutrients, for example the extracts of the vermicompost of manure of lamb and bovine mixed with grass presents values high pH and electrical conductivity, as well as macronutrients (except P and Mg) and micronutrients.

Another nutritionally well-balanced substrate for vermicomposting is equine manure. This residue has great potential to generate biofertilizers. In this regard, Moreno-Reséndez *et al.* (2013), mention that the use of manures horse, goat and rabbit vermicomposting promotes the growth and development of seedlings of acacia (*Acacia*

con pasto presenta valores altos de pH y conductividad eléctrica, así como de macronutrientes (excepto P y Mg) y micronutrientes.

Otro sustrato nutricionalmente bien balanceado para vermicompostaje, es el estiércol de equino. Este residuo tiene gran potencial para generar biofertilizantes. Al respecto, Moreno-Reséndez *et al.* (2013), mencionan que el uso de estiércoles de caballo, cabra y conejo vermicomposteados favorece el crecimiento y desarrollo de plántulas de huizache (*Acacia farnesiana*), observando mayor altura de la planta, peso fresco y peso seco. Plantas cultivadas de tomate se han visto favorecidas por el uso de humus de lombriz a partir de estiércol de caballo, de cabra, paja de alfalfa y arena. Los beneficios generados por las mezcla, resultan en el incremento de los rendimientos de la planta, observando una mayor respuesta en cuanto a número de lóculos, contenido de sólidos solubles y tamaño de fruto de tomate. Este tipo de humus posee características, físicas y químicas que permiten el desarrollo de tomates (Moreno *et al.*, 2008).

El estiércol porcino es otro tipo de sustrato utilizado para vermicompostaje. Sin embargo, es utilizado conjuntamente con grandes cantidades de residuos orgánicos estructurantes, este residuo también se considera un alimento bien equilibrado para las lombrices de tierra. Se ha utilizado con buenos resultados como medio de germinación, cultivo y producción de tomate, caléndula, pimienta y aldiza, se ha comprobado que incrementa el número de brotes, peso de la raíz, área foliar y proporción brote:raíz tanto de tomate y caléndula, aunque tiene poca influencia en la pimienta y la aldiza. (Bachman y Metzger, 2008).

Conclusiones

La generación de grandes cantidades de todo tipo de residuos orgánicos alrededor del mundo, plantea la necesidad de desarrollar estrategias para el tratamiento y gestión de estos residuos. El impacto ambiental de estos residuos es un asunto de gran preocupación a nivel mundial, ya que los efectos negativos se hacen evidentes sobre los animales, humanos y los ecosistemas. La reducción del impacto a través de un tratamiento integral, es una necesidad trascendente que deriva de la importancia de la conservación del medio ambiente.

farnesiana), observing higher plant height, fresh weight and dry weight. The cultivated tomato plants have been favored by the use of worm humus from horse manure, goat, alfalfa straw and sand. The benefits generated by the mixtures result in increased plant yields, observing a greater response in terms of number of locules, soluble solids content and tomato fruit size. This type of humus has characteristics, physical and chemical that allow the development of tomatoes (Moreno *et al.*, 2008).

The porcine manure is another type of substrate used for vermicomposting. However, it is used in conjunction with large amounts of structuring organic waste, this residue is also considered a well-balanced food for earthworms. It has been used with good results as a means of germination, cultivation and production of tomato, calendula, pepper and aldiza, it has been proven that it increases the number of shoots, root weight, leaf area and proportion shoot: root of both tomato and marigold, although it has little influence on pepper and aldiza (Bachman and Metzger, 2008).

Conclusions

The generation of large quantities of all types of organic waste around the world, raises the need to develop strategies for the treatment and management of these wastes. The environmental impact of this waste is a matter of great concern worldwide, as the negative effects are evident on animals, humans and ecosystems. The reduction of the impact through an integral treatment, is a transcendent necessity that derives from the importance of the conservation of the environment.

The work of earthworms as engineers of the ecosystem is very old, 600 million years of specialization makes them useful organisms in the fertilization of the soils, by recycling organic matter efficiently. The ancient civilizations have documented their value for the role they played in their farmland. With the development of the scientific and technological bases of the process has increased its use in the treatment of a variety of waste, which in other circumstances would be discarded causing environmental problems, such is its value that many resources have been invested for the development of large worm production centers in various parts of the world. There for vermicomposting a

La labor de las lombrices de tierra como ingenieros del ecosistema es muy antigua, 600 millones de años de especialización las convierte en organismos útiles en la fertilización de los suelos, al reciclar la materia orgánica de manera eficiente. Las antiguas civilizaciones han documentado su valor por el papel que desempeñaban en sus tierras de cultivo. Con el desarrollo de las bases científicas y tecnológicas del proceso se ha incrementado su uso en el tratamiento de una variedad de residuos, que en otras circunstancias se desecharían causando problemas ambientales, tal es su valor que se han invertido muchos recursos para el desarrollo de grandes centros de producción de lombrices en varias partes del mundo. Existen para el vermicompostaje una gran diversidad de especies de lombrices con roles particulares en la degradación y estabilización de la materia orgánica, al ser las impulsoras del proceso de acondicionar el sustrato y modificar la actividad biológica, aunque son los microbios los responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica.

A través del vermicompostaje se pueden transformar una variedad de recursos orgánicos derivados de las actividades económicas e industriales del ser humano, recursos que se agrupan en función a su origen, como los residuos convencionales y no convencionales procedentes de actividades agrícolas y agroindustrial entre otras, ambos tipos de residuos son estabilizados de manera eficiente por las lombrices de tierra para generar un producto con gran valor nutritivo para las plantas de cultivo o recuperación de suelos.

Literatura citada

- Aira, M.; Monroy, F.; Domínguez, J. and Mato, S. 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *Eur. J. Soil Biol.* 38:7-10.
- Aira, M.; Sampedro, L.; Monroy, F. and Domínguez, J. 2008. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biol. Bio.* 40:2511-2516.
- Aira, M.; Monroy, F. and Domínguez, J. 2009. Changes in bacterial numbers and microbial activity of pig slurry during gut transit of epigeic and anecic earthworms. *J. Hazardous Materials.* 162(2-3):1404-1407.
- Aira, M. y Domínguez, J. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. *Acta Zool. Mex.* 26(2):385-395.
- Arancon, N. Q.; Edwards, C. A. and Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bio. Technol.* 97:831-840.

great diversity of earthworm species with particular roles in the degradation and stabilization of organic matter, being the driving forces behind the process of conditioning the substrate and modify the biological activity, though microbes responsible for degradation biochemistry of organic matter.

Through the vermicomposting can transform a variety of organic resources derived from the economic and industrial activities of the human being, resources that are grouped according to their origin, as conventional and non conventional residues from agricultural and agro industrial activities among others, both types of residues are efficiently stabilized by earthworms to generate a product with great nutritional value for crop plants or soil recovery.

End of the English version



- Ayyobi, H.; Hassanpour, E.; Alaqemand, S.; Fathi, S.; Olfati, J. A. and Peyvast, Gh. 2014. Vermicompost leachate and vermivash enhance french dwarf bean yield. *Int. J. Veg. Sci.* 20(1):21-27.
- Bachman, G. R. and Metzger, J. D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bio. Technol.* 99(8):3155-3161.
- Cabanillas, C.; Tablada, M. and Ledesma, A. 2013. Vermicompost: alternative to urea in basil seed production. *Management of Environmental Quality International Journal.* 24:165-177.
- Carvajal, M. J. S. y Mera, B. A. C. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia.* 5(2):77-96.
- Coulibaly, S. S. and Zoro, B. I. A. 2010. Influence of animal wastes on growth and reproduction of the African earthworm species *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *Eur. J. Soil Biol.* 46(3-4):225-229.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. Chapter 20:401-424. In: *Earthworm ecology.* Second edition. Edwards, C. A. (Ed.). CRC Press, USA. 424 p.
- Domínguez, J. y Pérez, L. M. 2010. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta Zool. Mex.* 321-331 pp.
- Domínguez, J.; Aira, M. y Gómez, B. M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas.* 18(2):20-31.
- Domínguez, J. and Edwards, C. A. 2011a. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. Chapter 3:27-40. In: *vermiculture technology. Earthworms, organic wastes, and environmental management.* Edwards, C. A.; Arancon, N. Q. and Sherman, R. (Eds.). CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 587 p.

- Domínguez, J. and Edwards, C. A. 2011b. Relationships between composting and vermicomposting. Chapter 2:11-25. *In: vermiculture technology. Earthworms, organic wastes, and environmental management.* Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Sherman, R. (Eds.). CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 587 p.
- Edwards, C. A. 2004. *Earthworm ecology* (2nd edition). CRC Press, Boca Raton, FL, London, New York, Washington. 448 p.
- Fragoso, C. y Rojas, P. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassidellata) en México. *Rev. Mex. Bio.* (85):197-207.
- García, P. R. E. 2011. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 178 p.
- Garg, V. K. and Gupta, R. 2011. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* 74(1):19-24.
- Garg, V. K.; Suthar, S. and Yadav, A. 2012. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. *Bio. Technol.* 126:437-443.
- Gómez, B. M.; Aira, M.; Lores, M. and Domínguez, J. 2011a. Changes in microbial community structure and function during vermicomposting of pig slurry. *Bio. Technol.* 102(5):4171-4178.
- Gómez, B. M.; Aira, M.; Lores, M. and Domínguez, J. 2011b. Epigeic earthworms exert a bottleneck effect on microbial communities through gut associated processes. *PLoS ONE.* 6(9):1-9.
- Gómez, B. M.; Lores, M. and Domínguez, J. 2013. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. *Bio. Technol.* 128:310-316.
- González, S. K. D.; Rodríguez, M. M. N.; Trejo, T. L. I.; Sánchez, E. J. y García, C. J. L. 2013. Propiedades químicas de tés de vermicompost. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:901-911.
- Gunadi, B. and Edwards, C. A. 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiología.* 47:321-329.
- Gutiérrez, M. F. A.; Moguel, Z. B.; Abud, A. M.; Gutiérrez, O. V. F. and Dendooven, L. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bio. Technol.* 99:7020-7026.
- Hait, S. and Tare, V. 2011. Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bio. Technol.* 102:2812-2820.
- Hernández, J.; Marmol, L.; Guerrero, F.; Salas, E.; Bárcenas, J.; Polo, V. y Colmenares, C. 2010. Caracterización química, según granulometría, de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Rev. Fac. Agron.* 27:491-520.
- Kavdir, Y. and Ilay, R. 2011. Earthworms and soil structure. Chapter 3. *In: biology of earthworms.* Karaca, A. (Ed.). Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 316 p.
- Kui, H.; Fusheng, L.; Yongfen, W.; Xiaoyong, F. and Xuemin, Ch. 2014. Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bio. Technol.* 170:45-52.
- Kumar, A. 2005. *Verms and vermitechnology.* APH Publishing. New Dehli, India. 200 p.
- Lemtiri, A.; Colinet, G.; Alabi, T.; Cluzeau, D.; Zirbes, L.; Haubruge, E. and Francis, F. 2014. Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 18(1):1-13.
- Li, K.; Li, P. and Li, H. 2010. Earthworms helping economy, improving ecology and protecting health. *Int. J. Global Environ.* 10(3):354-365.
- Mamani, M. G.; Mamani, P. F.; Sainz, M. H. y Villca, H. R. 2012. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *J. Selva Andina Res. Soc.* 1(1):44-54.
- Medany, M. 2011. Vermiculture in Egypt: current development and future potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO/UN). Regional Office for the Near East Cairo, Egypt. 99 p.
- Morales, M. J. C.; Fernández, R. M. V.; Montiel, C. A. y Peralta, B. B. C. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnica.* 11(1):19-26.
- 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.
- Moreno, R. A.; Gómez, F. L.; Cano, R. P.; Martínez, C. V.; Reyes, C. J. L.; Puente, M. J. L.; Rodríguez, D. N. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *Terra Latinoam.* 26(2):103-109.
- Moreno, R. A.; Solís, M. G.; Blanco, C. E.; Vásquez, A. J.; Guzmán, C. L. M. P.; Rodríguez, D. N. y Figueroa, V. U. 2013. Desarrollo de plántulas de huizache (*Acacia farnesiana*) en sustratos con vermicompost. *Rev. Chapingo.* 20(1):55-62.
- Moreno, R. A.; García, G. L.; Cano, R. P.; Martínez, C. V.; Márquez, H. C. y Rodríguez, D. N. 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecos. Rec. Agrop.* 1(2):163-173.
- Nieto, G. A.; Murillo, A. B.; Troyo, D. E.; Beltrán, M. A.; Ruíz, E. F. H. y García, H. J. L. 2010. Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. *In: agricultura orgánica.* García, H. J. L.; Orona, C. I.; Salazar, S. E.; Fortis, H. M. y Trejo, E. H. I. (Eds.). Sociedad Mexicana de la Ciencias del Suelo-CONACYT. 431 p.
- Pathma, J. and Sakthivel, N. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus.* 1:26.
- Petmuenwai, N.; Boonthai, I. Ch.; Chuasavathi, T. and Ta-oun, M. 2013. Using chicken manure in vermicompost to manage different agro-industrial wastes. *Int. J. Environ. Rural Develop.* 4(1):69-17.
- Ravindran, B.; Sravani, R.; Mandal, A.; Contreras, R. S. and Sekaran, G. 2013. Instrumental evidence for biodegradation of tannery waste during vermicomposting process using *Eudrilus eugeniae*. *J. Thermal Anal. Calor.* 111(3):1675-1684.
- Reynolds, J. W. and Wetzel, M. J. 2015. Nomenclatura oligochaetologica - a catalogue of names, descriptions and type specimens. Edition Secunda. <http://www.inhs.illinois.edu/people/mjwetzel/nomenoligo>.

- Schuldt, M. 2006. Lombricultura: teoría y práctica. Mundi-Prensa, España. 307 p.
- Selles, V. S. G.; Ferreyra, E. R.; Ahumada, B. R.; Santelices, S. M.; García-Huidobro, P. J. y Ruiz, S. R. 2006. Lombrices de tierra como agentes mejoradores de las propiedades físicas del suelo en huertos frutales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. 92 p.
- Singh, P. R.; Singh, P.; Araujo, S. F. A.; Ibrahim, H. M. and Sulaiman, O. 2011. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Res. Conserv. Recy.* 55(7):719-729.
- Sinha, R. K.; Herat, S.; Valani, D. B. and Chauhan, K. A. 2009. Earthworms: the unheralded soldiers of mankind and farmer's friend working day and night under the soil: reviving the dreams of Sir Charles Darwin for promoting sustainable agriculture. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 5(Suppl.):5-13.
- Sinha, R. K.; Agarwal, S.; Chauhan, K.; Chandran, V. and Soni, B. K. 2010a. Vermiculture technology: reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Technol. Invest.* 1:155-172.
- Sinha, R. K.; Herat, S.; Valani, D. and Chauhan, K. 2010b. Earthworms. The environmental engineers: review of vermiculture technologies for environmental management and resource development. *J. Int. J. Global Environ.* 10(3-4):265-292.
- Sinha, R. K.; Valani, D.; Chauhan, K. and Agarwal, S. 2010c. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *J. Agric. Biotechnol. Sust. Develop.* 2(7):113-128.
- Su, L. L.; Ta, Y. W.; Pei, N. L. and Pui, Y. S. K. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *J. Sci. Food Agric.* 95:1143-1156.
- Vargas, M. R. N.; Domínguez, M. J. y Mato de la Iglesia, S. 2008. Vermicompostaje. *In. Compostaje.* Moreno, C. J. y Moral, H. R. Ediciones Mundi-Prensa. España. 570 p.
- Vargas, M. 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. 43 p.
- Vig, A. P.; Singh, J.; Wani, S. H. and Dhaliwal, S. S. 2011. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bio. Technol.* 102:7941-7945.
- Yadav, A. and Garg, V. K. 2011. Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bio. Technol.* 102(3):2874-2880.
- Yadav, A.; Gupta, R. and Kumar, G. V. 2013. Organic manure production from cow dung and biogas plant slurry by vermicomposting under field conditions. *Int. J. Recy. Org. Waste Agric.* 2:1-7.