



Ingeniería, investigación y tecnología

ISSN: 1405-7743

ISSN: 2594-0732

Facultad de Ingeniería, UNAM

Zanor, Gabriela Ana; López-Pérez, María Elena; Martínez-Yáñez, Rosario; Ramírez-Santoyo, Luis Felipe; Gutiérrez-Vargas, Santiago; León-Galván, Ma. Fabiola
Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor
Ingeniería, investigación y tecnología, vol. XIX, núm. 4, e036, 2018, Octubre-Diciembre
Facultad de Ingeniería, UNAM

DOI: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40458316004>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

UNAM 

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor

Physical and chemical properties improvement of an agricultural soil mixed with vermicompost from two biodigestor effluents

Zanor Gabriela Ana

Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Correo: gzanor@ugto.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2694-3571>

López-Pérez María Elena

Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Correo: me.lopezperez@ugto.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9800-9932>

Martínez-Yáñez Rosario

Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Correo: ar.martinez@ugto.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1182-370X>

Ramírez-Santoyo Luis Felipe

Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Correo: santoyo@ugto.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7538-6479>

Gutiérrez-Vargas Santiago

Universidad Politécnica de Guanajuato
Departamento de Energías
Correo: sgutierrez@upgto.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9605-9557>

León-Galván Ma. Fabiola

Universidad de Guanajuato
Campus Irapuato-Salamanca
División de Ciencias de la Vida
Correo: fabiola@ugto.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4006-0281>

Resumen

En el estado de Guanajuato existe la necesidad de desarrollar biofertilizantes para mejorar la calidad de los suelos afectados por la degradación. Es importante evaluar diferentes abonos orgánicos que utilicen desechos derivados de las actividades económicas primarias de la región que permitan incrementar la fertilidad del suelo. El objetivo del presente estudio fue analizar el mejoramiento de las características de un suelo pobre en nutrientes (suelo testigo T) luego de la aplicación de dos lombricompostas producidas a partir de efluentes de biodigestor. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con dos tratamientos de lombricompostas aplicados en unidades experimentales en una dosis de 4 t ha^{-1} : lombricomposta de efluentes de estiércol bovino (LBE) y lombricomposta de efluentes de hortalizas y frutas (LBH), obteniendo los suelos denominados SLE y SLH. Las propiedades analizadas en los suelos y lombricompostas fueron humedad, clase textural, densidad aparente, densidad real, porosidad total, pH, materia orgánica, N total, relación C/N y actividad de la enzima deshidrogenasa. Los resultados indicaron que posterior a los tratamientos orgánicos, SLE y SLH aumentaron el contenido de materia orgánica en 47% y 90%, y el de N en 100% y 300%, respectivamente. Las relaciones C/N disminuyeron luego del tratamiento desde 33 (T) hasta 20 (SLE) y 13 (SLH). El suelo con tratamiento de LBH alcanzó una actividad enzimática mayor que el suelo SLE (168.54 y $105.17 \mu\text{g TFF g}^{-1}$, respectivamente). LBH sería un bioabono con potencial mayor de descomposición y mineralización rápida que estimularía las reacciones bioquímicas del suelo. LBE liberaría los nutrientes lentamente por el carácter recalcitrante mayor de los componentes del estiércol (principalmente lignina). Las enmiendas ofrecen alternativas para el control y manejo de los residuos provenientes de diferentes actividades económicas del Bajío Guanajuatense y además aportan valor fertilizante para su uso en la agricultura.

Descriptores: Fertilidad, abonos orgánicos, propiedades físicas, propiedades químicas, actividad enzimática, degradación.

Abstract

In the state of Guanajuato there is a need to develop biofertilizers to improve the soil quality, which are affected by nutrient degradation. For this, it is important to evaluate different organic fertilizers, that are made of wastes from primary economic activities in Guanajuato. The objective of this study was to analyze the characteristics of nutrient-poor soils after applying two vermicomposts produced from biodigestor effluents. A completely randomized experimental design was used to set up the experiments; having two vermicompost treatments, both at 4 t ha^{-1} dose: 1) vermicompost from bovine-manure effluent (LBE) and 2) vermicompost from vegetable-fruit effluent (LBH), to obtain soils named SLE and SLH, respectively. The soil and vermicompost properties were analyzed, including: moisture, textural class, apparent density, real density, total porosity, pH, organic matter, total N, C/N ratio and dehydrogenase enzyme activity. The results indicated that after LBE and LBH treatments, SLE and SLH increased the organic matter content by 47% and 90%, and N by 100% and 300%, respectively. The C/N ratios decreased from 33 (control T) to 20 (SLE) and 13 (SLH). The SLH achieved a higher enzymatic activity than the SLE (168.54 and $105.17 \mu\text{g TFF g}^{-1}$, respectively). These results suggest that LBH might be a biofertilizer with a greater decomposition potential and soil rapid mineralization than LBE, and likewise LBH would stimulate the soil's biochemical reactions. LBE could also gradually release the nutrients, because of the greater recalcitrant character of manure components (mainly lignin). These amendments offer alternatives to waste management and control from different primary activities in Guanajuato, and they would provide biofertilizers to be used in sustainable agriculture.

Keywords: Fertility, organic fertilizers, physical properties, chemical properties, enzymatic activity, degradation.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema dinámico que desarrolla múltiples interacciones en la pedosfera. En las últimas décadas, el crecimiento de la población humana ha ocasionado cambios significativos en la calidad de los suelos a través de los desechos y contaminantes generados. Desde la Revolución Industrial y la Revolución Verde se han introducido diversas sustancias tóxicas a los ecosistemas (como metales pesados, compuestos orgánicos persistentes, gases efecto invernadero, plaguicidas), que se han acumulado en el aire, el agua, el sedimento, el suelo, la biota, e incluso, el hombre. Recientemente en México y el resto del mundo, ha crecido el desarrollo de biotecnologías tendientes a sanear los recursos naturales para revertir los daños ocasionados por el deterioro ambiental. En particular, algunas tecnologías verdes se están utilizando actualmente para el suelo, entre ellas, las enmiendas orgánicas (residuos de origen animal o vegetal, compostas, lodos orgánicos) que permiten mejorar de manera eficaz y económica las características del suelo, creando un medio adecuado para el crecimiento de los cultivos (Elvira *et al.*, 1997; Delgado *et al.*, 2004; Tognetti *et al.*, 2007; Achiba *et al.*, 2009; Asensio *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2016). Una alternativa con creciente auge ha sido el uso de residuos orgánicos, con participación en el bioproceso de lombrices, para obtener productos con valor agronómico alto y mejorías en la calidad nutrimental del suelo (lombricomposta o vermicomposta (Edwards y Fletcher, 1988; Edwards y Bate, 1992; Atiyeh *et al.*, 2002; Shipitalo y Le, 2004; Aira y Domínguez, 2009; Lazcano y Domínguez, 2011; Ali *et al.*, 2015). Según Domínguez (2004), el vermicomposteo es un proceso de descomposición que implica la interacción entre lombrices y microorganismos, las primeras son vectores cruciales que fragmentan y acondicionan el sustrato e incrementan la superficie para la actividad microbiológica. Además, el vermicomposteo es una estrategia que permite aumentar la materia orgánica de los suelos, aportar los nutrimentos para los cultivos, mejorar la estructura del sistema edáfico, su estabilidad y porosidad, y elevar la capacidad de intercambio catiónico, entre otros.

Las actividades económicas primarias son de gran importancia para el estado de Guanajuato, con un porcentaje de aportación al producto interno bruto estatal de 3.47% (INEGI, 2014). Dentro de ellas, se destacan las actividades agropecuarias alcanzando en ciertos productos agrícolas y pecuarios los primeros lugares de producción a nivel nacional (fresa, cebada, brócoli, lechuga, leche de ganado caprino). Sin embargo, estas actividades han ocasionado deterioros físicos y quími-

cos de la cubierta edáfica, causados principalmente por la disminución de la fertilidad, el uso de agroquímicos y la compactación (SEMARNAT, 2012). Otra preocupación a escala nacional y estatal, tanto para autoridades como productores, es el gran volumen de estiércoles generados y el manejo inapropiado que se le da a estos materiales. Muchos de ellos son manipulados sin conocer sus propiedades físicas y químicas, o son aplicados en extensiones de tierra muy pequeñas. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue efectuar las determinaciones físicas, químicas y actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo testigo pobre en nutrientes luego del tratamiento con dos lombricompostas de lodos de biodigestores (estiércol bovino y residuos de hortalizas y frutas) a fin de evaluar si se mejoran las condiciones de fertilidad del suelo y aumenta su capacidad de uso para las actividades agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

APLICACIÓN DE LOMBRICOMPOSTAS, MUESTREOS Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El presente estudio se llevó a cabo en agosto de 2014 en el campo experimental de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) de la Universidad de Guanajuato. Un área aproximada de 300 m² fue utilizada donde se establecieron tres contenedores de ladrillo de 2 m de ancho, 3 m de longitud y 0.40 m de profundidad (Unidades Experimentales 1, 2 y 3), colocándole a cada uno suelo testigo (T). El suelo T correspondió a un suelo agrícola Vertisol (Typic Haplustert) de acuerdo con *USDA Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014), con manejo convencional, de temporal y con cinco años de abandono, localizado en el municipio de Romita (Guanajuato). A la unidad 1 con suelo T no se le aplicó lombricomposta. Dos tratamientos de lombricompostas se incorporaron a las unidades 2 y 3 con suelo T en una dosis de 4 t ha⁻¹ (2.4 kg 6 m⁻²). Uno de los tratamientos correspondió a una lombricomposta preparada con efluentes de biodigestor alimentado con desechos de hortalizas y frutas (LBH), conformando la muestra SLH mientras que el segundo fue una lombricomposta elaborada con efluentes de biodigestor alimentado con estiércol bovino (LBE), constituyendo la muestra SLE. Las mezclas vermicomposta-suelo fueron volteadas y regadas cada cinco días, dependiendo de las lluvias caídas. LBE se proporcionó por la empresa BIOGEMEX, mientras que LBH fue elaborada en el campo experimental de la DICIVA. Para su preparación se utilizaron los lodos de un biodigestor tubular que procesa diversos residuos de hortalizas y frutas provenientes del mercado local, me-

dianter una digestión anaerobia por un lapso de 25 días, el cual opera en un rango de temperatura de 25-30 °C. Los lodos del biodigestor posteriormente fueron composteados utilizando lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), siguiendo los lineamientos de SAGARPA (2012). La recolección de las muestras se efectuó luego de una interacción lombricomposta-suelo de 10 semanas tomando tres muestras simples de cada unidad a una profundidad de 15 cm (suelos T, SLE y SLH). Las tres submuestras se mezclaron y homogeneizaron hasta obtener una muestra representativa de 2 kg. Posteriormente se procedió al secado de las muestras por una semana a temperatura ambiente, luego a la molienda y por último, al tamizado con malla 10.

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las determinaciones analíticas se efectuaron en las instalaciones de la DICIVA. Para las determinaciones de las características físicas y químicas de los suelos se siguieron los métodos reportados en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 y para las lombricompostas, la norma NMX-FF-109-SCFI-2007. El contenido de humedad del suelo y de las lombricompostas se determinó mediante el método gravimétrico (temperatura 105 °C por 24 horas). Para cuantificar las proporciones porcentuales de arena, limo y arcilla en las muestras de suelo se utilizó el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962). Previo al análisis granulométrico, se procedió a la destrucción de materia orgánica con peróxido de hidrógeno a 30% y, en segundo lugar, se añadieron agentes dispersantes para individualizar las partículas de arcilla. Para la determinación de la densidad aparente, se siguió el método de la probeta y para la densidad real se siguió el método del Picnómetro. La porosidad total de las muestras de suelo y lombricomposta se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porosidad} = 1 - \left(\frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right) 100$$

Para la determinación del pH se empleó el método potenciométrico medido en agua como en una solución de cloruro de potasio 1M (relación 1:2), con un potenciómetro Fisher Scientific AB15, previamente calibrado con soluciones reguladoras a pH 4, 7 y 10. Para la cuantificación de los contenidos de materia orgánica se utilizaron dos técnicas a fin de efectuar comparaciones entre ambas:

1) Pérdida por Ignición (PPI), (Heiri *et al.*, 2001), donde las muestras fueron calcinadas en un horno de mufla a una temperatura de 550 °C por tres horas y,

2) Combustión húmeda por Walkley y Black (1934), basado en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. El porcentaje de materia orgánica se obtuvo multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor de 1.724 (Factor de Van Benmelen).

La determinación de N total se realizó siguiendo el método Micro-Kjeldahl (Ma y Zuazaga, 1942). Este método se basa en el calentamiento de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y posterior destilación con hidróxido de sodio recogiendo el destilado en ácido bórico y titulando con ácido sulfúrico al 0.25 N.

La actividad enzimática se estimó según Casida *et al.* (1964), cuantificando por colorimetría la presencia de la enzima deshidrogenasa en el suelo y lombricompostas, llevando a cabo las determinaciones en el laboratorio de Edafología del Centro de Geociencias-UNAM. El método se basa en el uso de una sal soluble, cloruro de 2, 3, 5-trifeniltetrazolium como aceptor terminal de electrones. Después de incubar las muestras de suelo 24 h a 37 °C, esta sal se reduce formando trifeniltetrazoliumformazan (TFF) de color rojo. Una vez extraído el TFF con acetona, su concentración fue cuantificada por colorimetría mediante el uso de un espectrofotómetro UV-VIS Thermo Scientific, modelo Genesis 10S (Madison, USA), leyendo la absorbancia a 485 nm.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los datos se expresaron en medias \pm error estándar. Para el análisis de los valores de pH, los datos se transformaron en concentración de iones de hidronio (Brown *et al.*, 2004). Las diferencias entre los tratamientos fueron analizadas utilizando un ANDEVA de una vía, seguido por una prueba de comparación de medias de Tukey (Montgomery, 2004). Previo al ANDEVA, la homogeneidad de las varianzas y la normalidad de los datos se verificaron y en caso necesario, se realizó una transformación de los mismos. Además, se construyó una matriz de correlación de Pearson para determinar los pares de variables que mostraban relación entre ellas (Johnson y Wichern, 2002). Las diferencias estadísticamente significativas se reportaron cuando $p < 0.05$ y se indicaron en las tablas con diferentes letras. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statgraphics 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre los porcentajes de humedad del suelo T y las lombricompostas LBE y LBH (Tabla 1) aunque los suelos enmendados SLE y SLH mostraron un comportamiento similar.

Estos suelos manifestaron un ascenso del contenido de humedad respecto al testigo del orden de 5.57 a 8.04%, respectivamente, indicando que los abonos resultarían con potencial para mejorar el contenido de humedad del suelo. Hay que tener en cuenta que el sitio bajo estudio estuvo sujeto a una alta tasa de evaporación durante el periodo de interacción lombricomposta-suelo (verano y otoño boreal: 1200 mm anuales, año 2014; Fundación Guanajuato Produce), lo que implica grandes pérdidas de agua desde los poros del cuerpo edáfico. Asimismo, los suelos con lombricompostas adquirieron una superficie específica más alta (Padmavathiamma *et al.*, 2008), lo que favorece la pérdida de agua desde estos sustratos integrados. En cuanto a las composiciones granulométricas, la muestra T evidenció una clase textural correspondiente a arcilla (Tabla 1), con porcentajes de arcilla de 62.80%, limo de 25.00% y arena de 12.20%. De la misma manera, las muestras SLE y SLH mostraron clases arcilla (arcilla: 58.80 y 56.80%, respectivamente). De acuerdo con la norma mexicana de suelos, los valores de densidad real obtenidos indicaron la presencia de minerales de arcilla como minerales principales en los suelos, sin cambios estadísticamente significativos entre T, SLE y SLH (Tabla 1). Simultáneamente, la densidad real mostró correlaciones positivas con las fracciones arena, limo y arcilla de los suelos (Tabla 2), lo que indicaría que los componentes inorgánicos de los suelos en las distintas granulometrías condicionan los valores de densidad real.

Las enmiendas orgánicas presentaron valores menores de densidad aparente en comparación con los suelos (Tabla 1), concordando con los valores de referencia reportados en la norma mexicana de humus de lombriz (< a 1.00 g cm⁻³). La densidad aparente no mostró diferencias significativas entre el suelo testigo y los suelos con adiciones orgánicas (Tabla 1). Resultados similares fueron reportados por Olivares *et al.* (2012). Este hecho probablemente se deba a que el tiempo de interacción suelo-enmienda no haya sido suficiente para lograr cambios rápidos en esta propiedad del suelo (Del Pino *et al.*, 2008). Según la norma mexicana, los valores de densidad aparente obtenidos indicaron suelos minerales con predominio de textura arcillosa. Esto se evidencia en la matriz de correlación (Tabla 2) donde la densidad aparente se relacionó positivamente con la fracción arcilla de los suelos, lo cual permite interpretarlos como sistemas edáficos con altas porosidades. En este sentido, la muestra T mostró una porosidad total de 48.92% aumentando la porosidad luego de los tratamientos orgánicos, 0.65% para SLE y 4.15% para SLH. Bottinelli *et al.* (2010) reportaron que los valores más altos de porosidad total de los suelos abonados pueden explicarse por el desarrollo de una macro y micro-porosidad mayor debido al trabajo propio de las lombrices desencadenando simultáneamente una alta actividad microbiana. Como se observa en la matriz de correlación de la Tabla 2, la porosidad total se correlacionó positivamente con la humedad y mostró una correlación negativa con la densidad aparente, sugiriendo que los suelos con mayor espacio poroso presentan una mayor retención de agua en concordancia con una menor compactación.

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos y lombricompostas

Propiedad	T	LBE	LBH	SLE	SLH
Humedad (%)	9.70 ± 0.019 c	11.12 ± 0.048 a	10.76 ± 0.194 ab	10.24 ± 0.004 bc	10.48 ± 0.102 abc
Textura	Arcilla	nd	nd	Arcilla	Arcilla
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1.10 ± 0.004 a	0.56 ± 0.004 c	0.66 ± 0.001 b	1.10 ± 0.004 a	1.07 ± 0.011 a
Densidad Real (g cm ⁻³)	2.16 ± 0.008 a	1.46 ± 0.166 b	1.64 ± 0.141 b	2.17 ± 0.052 a	2.19 ± 0.034 a
Porosidad Total (%)	48.92 ± 0.204 b	61.42 ± 1.241 a	60.16 ± 1.065 a	49.24 ± 0.294 b	50.95 ± 0.854 b

T: Suelo testigo; LBE: Lombricomposta de biodigestor a partir de estiércol bovino; LBH: Lombricomposta de biodigestor a partir de desechos de hortalizas y frutas; SLE: Suelo tratado con LBE; SLH: Suelo tratado con LBH; nd: no determinado. Se muestran las medias ± error estándar para cada variable (n= 3) y los valores con diferentes letras son estadísticamente diferentes (p < 0.05)

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables analizadas

	Humedad (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Porosidad total (%)	pH H ₂ O	pH KCl	PPI (%)	MOWyB (%)	N total (%)	Relación C/N
Arena (%)	-0.6709												
Limo (%)	-0.7726	0.867											
Arcilla (%)	-0.8484	0.9135	0.9794										
Densidad aparente (g cm ⁻³)	-0.8578	0.9014	0.9780	0.9903									
Densidad real (g cm ⁻³)	-0.8307	0.9194	0.9673	0.9787	0.9958								
Porosidad total (%)	0.8799	-0.8761	-0.9796	-0.9942	-0.9949	-0.9816							
pH H ₂ O	0.5708	-0.6249	-0.6449	-0.7083	-0.6045	-0.5524	0.6607						
pH KCl	0.9767	-0.7770	-0.8610	-0.9149	-0.9369	-0.9243	0.9417	0.5300					
PPI (%)	0.8723	-0.8605	-0.9276	-0.9434	-0.9790	-0.9850	0.9622	0.4486	0.9566				
MO _{wyb} (%)	0.8554	-0.9120	-0.9758	-0.9917	-0.9996	-0.9963	0.9939	0.6131	0.9348	0.9772			
N total (%)	0.8788	-0.8902	-0.9702	-0.9871	-0.9990	-0.9937	0.9951	0.5965	0.9515	0.9835	0.9983		
Relación C/N	-0.6802	-0.0018	0.1333	0.2495	0.2265	0.1643	-0.294	-0.3924	-0.509	-0.2385	-0.2221	-0.2634	
DH (µg TFF g-1)	0.8838	-0.7597	-0.8363	-0.859	-0.9166	-0.9263	0.8955	0.2974	0.9551	0.9772	0.9124	0.9289	-0.3115

PPI: Pérdida por Ignición; MO_{wyb}: Materia Orgánica por el método Walkley y Black; DH: deshidrogenasa. En negrita los valores denotan diferencia estadística significativa

La disponibilidad y movilidad de los iones asimilables en los suelos y las lombricompostas se manifiesta por los valores obtenidos de pH en las muestras analizadas (acidez activa e intercambiable; Porta *et al.*, 2010; Tabla 3 y Figura 1).

Comparando las dos lombricompostas, LBH presentó un pH fuertemente alcalino superando ligeramente el valor máximo recomendado por la norma mexicana (5.50 a 8.50) mientras que LBE registró un pH medianamente alcalino (Tabla 3). Otros autores, como Durán y Henríquez (2007), reportaron valores de pH alcalinos (8.30) para compostas que utilizaron como camas desechos domésticos (materiales verdes). Como fuera propuesto por Edwards y Bohlen (1996), los valores altos de pH en los vermicompost podrían relacionarse con la secreción de carbonato de calcio amorfo en los procesos digestivos de las lombrices transformando paulatinamente al humus en un sustrato más alcalino. Para los suelos, la clase de pH obtenido (T: neutro, SLE y SLH: medianamente alcalino) resultó adecuado para lograr una buena disponibilidad de macroelementos, evitando problemas de deficiencias nutrimentales. Al aplicar los tratamientos orgánicos, los suelos SLE y SLH disminuyeron el pH respecto a sus respectivos abonos debido probablemente a la producción de ácidos orgánicos a partir de las reacciones metabólicas de los microorganismos o a la producción de ácidos fúlvicos y húmicos durante la descomposición (Atiyeh *et al.*, 2000). Por otro lado, los valores de pH medidos con KCl resultaron entre 1.12 (SLH) a 1.54 (T) unidades de pH más bajo que el medido en agua para los mismos suelos (Figura 1). Estos resultados indican que la disolución salina desplazó fácilmente de los sitios de intercambio a los iones H⁺, lo que sugeriría una alta capacidad de intercambio catiónico para SLE y SLH. Para el caso particu-

lar de la enmienda LBE, se registró una diferencia negativa entre los valores de pH con H₂O y KCl (-0.36; Figura 1). Esto último podría explicarse por una saturación de los sitios de intercambio con K⁺ en este sistema de composteo. Garg *et al.* (2006) reportaron incrementos significativos en los cationes intercambiables en vermicompostas debido a una conversión de los nutrientes a formas asimilables por las plantas o cultivos durante el pasaje a través del intestino de las lombrices.

Otros autores, como Salazar *et al.* (2010), concluyeron que si bien la aplicación de estiércol favorece la fertilización del suelo existe el riesgo de aumento en algunos iones que pueden resultar en concentraciones tóxicas para los cultivos. Además, hay que tener en cuenta que el área de muestreo del suelo T se caracteriza por rocas principalmente de naturaleza alcalina (basaltos y andesitas Terciarias y Cuaternarias, calizas Cretácicas y travertinos Terciarios (Nieto *et al.*, 2012), lo que podría saturar los sitios de intercambio con bases solubles.

En cuanto a los dos métodos utilizados para conocer el contenido orgánico de los suelos y las lombricompostas, los resultados de materia orgánica obtenidos por combustión húmeda (Walkley y Black) mostraron cambios estadísticamente significativos entre los abonos y los suelos mientras que con la técnica por calcinación (PPI) las variaciones fueron altamente diferentes entre cada uno de los materiales analizados (Tablas 2 y 3), (Figura 2). Sin embargo, la correlación entre los dos parámetros resultó positiva con un R² de 0.98 (Tabla 2), (Figura 2). Con ambas técnicas, los contenidos de materia orgánica determinados en las lombricompostas se encontraron dentro del rango óptimo referenciado en la norma mexicana (20 a 50%). Con base en los valores registrados de materia orgánica por Walkley y Black, la

Tabla 3. Propiedades químicas y actividad de la enzima deshidrogenasa de los suelos y lombricompost

Propiedad	T	LBE	LBH	SLE	SLH
pH H ₂ O	7.17 ± 0.006 d	7.65 ± 0.002 b	8.66 ± 0.004 a	7.61 ± 0.002 c	7.60 ± 0.002 c
pH KCl	5.63 ± 0.002 e	8.01 ± 0.002 a	7.24 ± 0.002 b	6.23 ± 0.005 d	6.48 ± 0.003 c
PPI (%)	4.44 ± 0.019 e	38.45 ± 0.048 a	24.31 ± 0.034 b	5.30 ± 0.041 d	6.51 ± 0.084 c
MO _{wyb} (%)	2.74 ± 0.158 b	59.61 ± 2.537 a	49.78 ± 3.666 a	4.03 ± 0.018 b	5.22 ± 0.071 b
N total (%)	0.06 ± 0.013 d	1.82 ± 0.036 a	1.45 ± 0.000 b	0.12 ± 0.000 d	0.24 ± 0.013 c
Relación C/N	33 ± 4.403 a	19 ± 1.167 ab	20 ± 1.469 ab	20 ± 0.093 ab	13 ± 0.845 b
DH (µg TFF g ⁻¹)	40.37 ± 1.175 e	886.47 ± 2.550 a	394.10 ± 14.565 b	105.17 ± 6.977 d	168.54 ± 4.450 c

T: Suelo testigo; LBE: Lombricomposta de biodigestor a partir de estiércol bovino; LBH: Lombricomposta de biodigestor a partir de desechos de hortalizas y frutas; SLE: Suelo tratado con LBE; SLH: Suelo tratado con LBH. PPI: Pérdida por Ignición; MO_{wyb}: Materia Orgánica por el método Walkey y Black; DH: deshidrogenasa. Se muestran las medias ± error estándar para cada variable (n= 3) y los valores con diferentes letras son estadísticamente diferentes (p < 0.05)

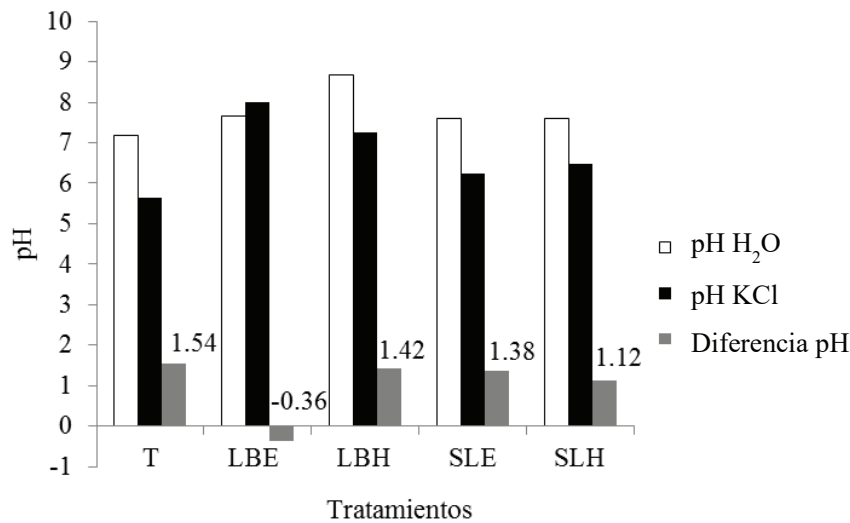


Figura 1. Valores de pH medidos en H₂O y KCl en los suelos y lombricompostas. Se muestra la diferencia entre las dos determinaciones de pH. Abreviaturas: T-SLH, como en la Tabla 1

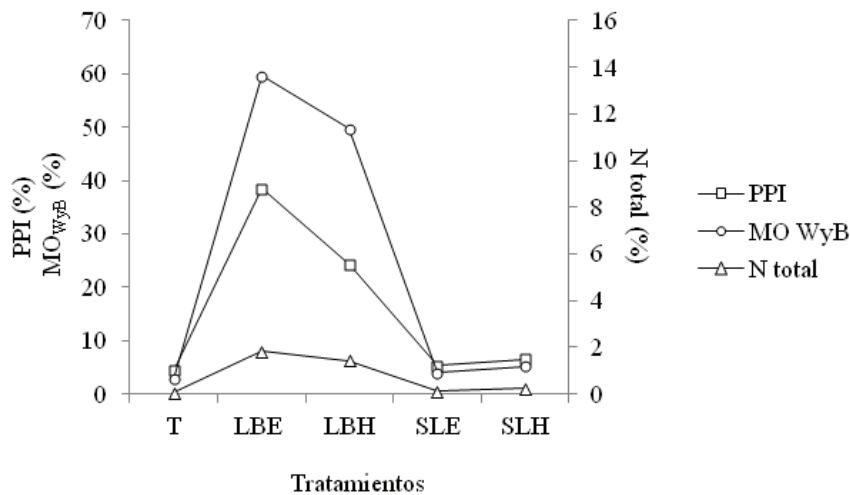


Figura 2. Pérdida por ignición (PPI), materia orgánica por el método Walkley y Black (MO_{WyB}) y N total de los suelos y lombricompostas. Abreviaturas: T-SLH, como en la Tabla 1

enmienda LBE mostró una concentración superior en aproximadamente 10% comparado con LBH. Según lo propuesto por Rodríguez *et al.* (2009), los estiércoles maduros pueden convertirse en materiales muy humificados con contenidos más altos en ácidos húmicos que las compostas de residuos hortícolas (Contenido total: 19.6% estiércol bovino y 16.9% residuos de frutas). Sin embargo, si se comparan los contenidos de materia orgánica determinados para los suelos (Figura 4), SLH aumentó un 90.51% respecto al suelo testigo y SLE un 47.08%, sugiriendo que el suelo tratado con lombricomposta de hortalizas y frutas es un sustrato que estimula una actividad microbiana mayor logrando una óptima disponibilidad de nutrientes para los microorganismos (Domínguez y Pérez, 2011).

Respecto al comportamiento estadístico del N total en las enmiendas y suelos, las dos vermicompostas presentaron diferencias significativas entre sí además de

cambios entre el suelo SLH y los suelos T y SLE (Tabla 3). La enmienda LBE registró una concentración de N total más alta que LBH (Tabla 3), encontrándose ambos valores en el rango óptimo para estos materiales según la norma mexicana. Comparando los porcentajes obtenidos para los suelos con la norma de referencia, la muestra T exhibió una concentración de N total muy baja (0.06%; ver Tabla 3). Al aplicar los abonos orgánicos, SLH presentó un incremento respecto al testigo de 300% mientras que SLE aumentó 100%. Existe evidencia estadística que el N total exhibió una interdependencia con la materia orgánica por ambas técnicas analíticas (Tabla 2), (Figura 2). En cuanto a la relación C/N, esta resultó tres veces más alta en la muestra T (33) que el valor recomendable para los suelos de uso agrícola (C/N= 10), (Porta *et al.*, 2010), debido indudablemente al bajo contenido de N total de este suelo (Tabla 3). Las lombricompostas presentaron relaciones C/N

dentro del rango óptimo especificado por la norma mexicana (≤ 20), indicando un equilibrio óptimo entre mineralización y humificación de la materia orgánica (Porta *et al.*, 2003), (Tabla 3). Según Pathma y Sakthivel (2012), el vermicomposteo del estiércol maduro usando lombriz *E. foetida* favorece la nitrificación, resultando en una conversión rápida de amonio a nitratos. Al adicionarle las enmiendas orgánicas a los suelos, SLE no mostró ninguna variación continuando con una C/N de 20 a diferencia de SLH que disminuyó la C/N hasta 13 (Tablas 2 y 3). El valor más alto de la relación C/N para SLE indicaría un proceso de descomposición lento que requiere de N adicional para acelerar el proceso de desintegración de la materia orgánica (Santamaría *et al.*, 2001). Por su parte, la relación C/N menor del suelo SLH sugeriría un contenido de material orgánico más fácilmente biodegradable al contrario del estiércol que podría contener altas cantidades de fibra permanente o fracción recalcitrante provenientes de la dieta del ganado bovino (i.e., lignina), (Durán y Henríquez, 2007; López *et al.*, 2013).

Como se reportó por Caldwell (2005), la actividad de las enzimas del suelo es la expresión directa de la comunidad microbiana a los requerimientos metabólicos y a la disponibilidad de los nutrientes. Para las distintas muestras de suelo y tratamientos orgánicos, la enzima deshidrogenasa se manifestó en el siguiente orden: LBE > LBH > SLH > SLE > T, mostrando diferencias significativas entre cada una de las muestras (Tabla 3). Al igual que fuera señalado por Masciandaro *et al.* (2000), se encontró una correlación positiva entre la actividad de la enzima deshidrogenasa y los contenidos de materia orgánica y N total (Tabla 2). Coincidiendo con Acosta *et al.* (2012), estos resultados indican que la incorporación de los residuos orgánicos al suelo contribuyó a aumentar la materia orgánica de los mismos y estimuló la actividad de la biomasa microbiana. La mayor actividad enzimática la tuvo LBE ($886.47 \mu\text{g TFF g}^{-1}$) en comparación con LBH ($394.10 \mu\text{g TFF g}^{-1}$), lo cual sugeriría una mayor actividad biológica para este sustrato orgánico. Sin embargo, al adicionarle la enmienda proveniente de estiércol al suelo, SLE disminuyó la actividad de la enzima deshidrogenasa. Esto podría explicarse por la relación C/N alta de este suelo (20), lo que implicaría una inmovilización del nitrógeno generando una competencia por este elemento entre los microorganismos y por ende, haciendo disminuir su bioactividad. Por el contrario, el valor más alto de la enzima para SLH (Tabla 3) sugiere un suelo rico en materia orgánica, nutrientes y bien estabilizado, lo que le hace aumentar la actividad metabólica de los microorganismos (Tognetti *et al.*, 2005). Siguiendo los criterios de Acosta

y Paolini (2005), la adición de residuos orgánicos pudo haber activado también la biomasa microbiana autóctona del suelo, permitiendo lograr un equilibrio óptimo entre los procesos de mineralización y humificación.

CONCLUSIONES

Las propiedades físicas y químicas determinadas en los suelos y lombricompostas mostraron gran variabilidad, con diferencias estadísticas mayores en las propiedades químicas. En general, se observó que las propiedades físicas resultaron más difíciles de cambiar o corregir (diez semanas en este estudio), particularmente el contenido de humedad y la densidad aparente, lo que se considera que para evidenciar mayores variaciones debe transcurrir un tiempo de interacción más extenso del sistema lombricomposta-suelo.

La lombricomposta de efluentes de biodigestor alimentado con residuos de hortalizas y frutas fue la mejor opción para mejorar las características físicas, químicas y la actividad enzimática deshidrogenasa del suelo, debido a que este alcanzó una relación C/N más equilibrada y mostró concentraciones más altas de materia orgánica y N total, en comparación con el suelo tratado con la lombricomposta de biodigestor a base de estiércol bovino.

Asimismo, la lombricomposta elaborada a partir de residuos de hortalizas y frutas es una opción con capacidad de mineralización y humificación en un periodo de tiempo menor respecto al estiércol. Por el contrario, la lombricomposta a base de estiércol retardaría el tiempo de degradación y liberación de nutrientes al suelo por su contenido mayor de materiales recalcitrantes lo que podría resultar en una alternativa viable como abono por su efecto residual a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los recursos para esta investigación fueron proporcionados por Fondos CONACYT-INNOVA 2014 (Propuesta 210705), con la empresa BIOGEMEX. Los autores desean expresar su agradecimiento al laboratorio de Tecnologías para la Sustentabilidad de la DICIVA por haber prestado las instalaciones para llevar a cabo las determinaciones de laboratorio. Los autores agradecen a la Empresa BIOGEMEX por haber provisto el lombricompost de efluentes de biodigestor a base de estiércol. Un agradecimiento especial al Laboratorio de Edafología del CGEO-UNAM por la determinación de la actividad de la enzima deshidrogenasa.

REFERENCIAS

- Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Du, Laing G., Verloo, M., Jedidi, N., Gallali, T. (2009). Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Journal Agriculture Ecosystems & Environment*, 130(3-4): 156-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2009.01.001>
- Acosta, Y. y Paolini, J. (2005). Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos, *Revista Agronomía Tropical*, 55(2): 217-232.
- Acosta, Y., El Zauahre, M., Rodríguez, L., Reyes, N., Rojas, D. (2012). Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos. *Revista Multiciencias*, 12(4): 390-399.
- Aira, M., Domínguez, J. (2009). Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3): 1234-1238. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.073>
- Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M., Syed, J., Malik, R. (2015). A review on vermicomposting of organic wastes. *Journal Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(4): 1050-1062. <https://doi.org/10.1002/ep.12100>
- Asensio, V., Vega, F., Singh, B., Covelo, E. (2013). Effects of tree vegetation and waste amendments on the fractionation of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in polluted mine soils. *Journal Science of The Total Environment*, 443: 446-453.
- Atiyeh, R.M., Domínguez, J., Subler, S., Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia Andrei*, Bouché) and the effects on seeding growth. *Journal Pedobiología*, 44(6): 709-724. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70084-0](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70084-0)
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Metzger, J.D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Journal Bioresource Technology*, 84(1): 7-14.
- Bottinelli, N., Henry-des-Tureaux, T., Hallaire, V., Mathieu, J., Bernard, Y., Duc, Tran, T., Jouquet, P. (2010). Earthworms accelerate soil porosity turnover under watering conditions. *Journal Geoderma* 156(1-2): 43-47.
- Brown, T., Le May, E., Bursten, B., Burdge, J. (2004). *Química: La Ciencia Central*, 9ª ed., Pearson-Prentice Hall, pp. 1038.
- Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*, 54(5): 464-465. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2011.21001>
- Caldwell, B.A.(2005). Enzyme activities as a component of soil biodiversity. *A review*, *Journal Pedobiología*, 49(6): 637-644. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.06.003>
- Casida, L.E.Jr., Klein, D.A., Santoro, T. (1964). Soil dehydrogenase activity. *Journal Soil Science*, 98(6): 371-376.
- Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 26(1): 43-52.
- Delgado, M., Porcel, M., Miralles de Imperial, R., Beltrán, E., Beringola, L., Martín, J. (2004). Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(2): 83-86.
- Domínguez, J. (2004). State of the art and new perspectives on vermicomposting research, en: Edwards C.A. *Earthworm Ecology*, 2ª ed., CRC Press LLC, pp. 401-424.
- Domínguez, J. y Pérez, D. (2011). Desarrollo y nuevas perspectivas del Vermicompostaje, en: López-Mosquera M.E., Sainz-Osés M.J. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola, Servicio de Publicacións e Intercambio Científico, Universidade de Santiago de Compostela, pp. 201-214.
- Durán, L. y Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Revista Agronomía Costarricense*, 31(1): 41-51.
- Edwards, C.A. y Fletcher, K.E. (1988). Interactions between Earthworms and Microorganisms in Organic-matter Breakdown. *Journal Agriculture Ecosystems & Environment*, 24(1-3): 235-247. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90069-2)
- Edwards, C.A. y Batey, J.E. (1992). The use of earthworms in environmental management. *Journal Soil Biology and Biochemistry*, 24(12): 1683-1689. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90170-3](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(92)90170-3)
- Edwards, C.A. y Bohlen, P.J. (1996). *Biology and ecology of earthworm*, 3ª ed., Chapman and Hall, London, pp. 426.
- Elvira, C., Sampedro, L., Domínguez, J., Mato, S. (1997). Vermicomposting of wastewater sludge from paper pulp industry with nitrogen rich materials. *Journal Soil Biology and Biochemistry*, 29(3-4): 759-762. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00202-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00202-7)
- Fundación Guanajuato Produce [en línea]. México, 2016 [fecha de consulta: 30 de julio de 2016] Disponible en: <http://www.fundacionguanajuato.mx/>
- Garg, P., Gupta, A., Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Journal Bioresource Technology*, 97(3): 391-395.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25(1): 101-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bior-tech.2005.03.009>
- Huang, M., Zhu, Y., Li, Z., Huang, B., Luo, N., Liu, C., Zeng, G. (2016). Compost as a Soil Amendment to Remediate Heavy Metal-Contaminated Agricultural Soil: Mechanisms, Efficacy, Problems, and Strategies. *Journal Water, Air and Soil Pollution*, 227:359. doi:10.1007/s11270-016-3068-8
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Información por entidad, Guanajuato [en línea]. México, 2014 [fecha

- de consulta: 25 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/economia/default.aspx?tema=me&e=11>
- Johnson, R.A. y Wichern, D.W. (2002). *Applied multivariate statistical analysis*. 5ª ed., Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 319-326.
- Lazcano, C. y Domínguez, J. (2011). *The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility in Mohammad Miransari, Soil Nutrients*, New York, Nova Science Publishers, 2011, pp. 230-254.
- López, C., Ruelas, R.D., Sañudo, R.R., C. Armenta, C., Félix, J.A. (2013). Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista Tecnociencia Chihuahua*, 7(2): 81-87.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., García, C. (2000). "In situ" vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality. *Journal Soil Biology Biochemistry*, 32(7): 1015-1024, July 2000.
- Montgomery, D.C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*, 2ª ed., México, Limusa Wiley, pp. 100.
- Nieto, A.F., Ojeda, A.C., Alaniz, S.A., Xu, S. (2012). Geología de la región de Salamanca, Guanajuato (México). *Revista Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(3): 411-425.
- Olivares, M.A., Hernández, A., Vences, C., Jáquez, J.L., Ojeda, D. (2012). Lombricomposta y Composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes mejoradores del suelo. *Revista Universidad y Ciencia*, 28(1): 27-37.
- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., Kumari, U.R. (2008). An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. *Journal Bioresource Technology*, 99(6): 1672-1681.
- Pathma, J. y Sakthivel, N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Journal SpringerPlus*, 1: 1-19. <https://dx.doi.org/10.1186%2F2193-1801-1-26>
- Porta, J., López, M., Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología, para la agricultura y el medio ambiente*, 3ª ed., España, Mundi-Prensa, pp. 929.
- Porta, J., López, M., Poch, R.M. (2010). *Introducción a la Edafología, Uso y protección de suelos*, 2ª ed., España, Mundi-Prensa, pp. 535.
- Rodríguez, M.D., Venegas, J., Angoa, M.V., Montañez, J.L. (2009). Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos de diferentes compost y su efecto sobre el cultivo de trigo. *Revista Bioagro*, 21(3): 183-188.
- Salazar, E., Trejo, H.I., López, J.D., Vázquez, C., Serrato, J.S., Orón, I., Flores, J.P. (2010). Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 28(4): 381-390.
- Santamaría, S., Ferrera, R., Almaraz, J.J., Galvis, A., Barois, I. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-Orgánico y N-Total durante el composteo y vermicomposteo. *Revista Agrociencia*, 35(4): 377-384.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Guía técnica para la producción de lombricomposta [en línea]. Publicación CIB. México, 2012 [fecha de consulta: 6 julio de 2015]. Disponible en: http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/manual_de_lombricomposta_FINAL.pdf
- Secretaría de Fomento y Comercio Industrial (SCFI). NMX-FF-109-SCFI-2007: Humus de Lombriz (lombricomposta) - Especificaciones y Métodos de prueba, Diario Oficial de la Federación (DOF), 20 de marzo de 2007. México, 2007, 24 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-021-SEMARNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos - Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación (DOF), 31 de diciembre de 2002. México, 2002, 85 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental [en línea]. México, 2012 [fecha de consulta: 25 de agosto de 2016] Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap0_docs_previos.pdf
- Shipitalo, M.J. y Le, R.C. (2004). Quantifying the Effects of Earthworms on Soil Aggregation and Porosity, en: Edwards C.A. *Earthworm Ecology*, 2ª ed., CRC Press LLC, pp. 183-200.
- Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed., Washington, D.C., USD-Natural Resources Conservation Service, 2014, pp. 314.
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M.J., Hernández, Muñoz M.T. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Journal Compost Science and Utilization*, 13(1): 6-13 <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212>
- Tognetti, C., Mazzarino, M.J., Laos, F. (2007). Improving the quality of municipal organic waste compost. *Journal Bioresource Technology*, 98(5): 1067-1076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.025>
- Walkley, A. y Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal Soil Science*, 37(1): 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Ma, T. y Zuazaga, G. (1942). Micro-Kjeldahl Determination of Nitrogen. A New Indicator and An Improved Rapid Method. *Industrial & Engineering Chemistry*, 14(3): 280-282.